



REGIONE MARCHE
SERVIZIO LAVORI PUBBLICI
UFFICIO PROGETTI



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ANCONA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
ISTITUTO DI IDRAULICA

STUDI, INDAGINI, MODELLI MATEMATICI FINALIZZATI ALLA REDAZIONE DEL PIANO DI DIFESA DELLA COSTA

A

ANALISI DEI DATI METEOMARINI ESISTENTI

Regione Marche
Il Dirigente Servizio LL.PP.
Dott. Ing. Libero Principi

Il Coordinatore
Prof. Ing. Alessandro Mancinelli

INDICE

1) <u>INTRODUZIONE</u>	A.1
2) <u>CONDIZIONI METEOMARINE GENERALI DI CORRENTI, MAREE E VENTI LUNGO LA COSTA MARCHIGIANA ED APPLICAZIONE DEL METODO DI RICOSTRUZIONE DEL MOTO ONDOSI A PARTIRE DAL VENTO</u>	
2.1) <u>Cenni di correnti superficiali</u>	A.3
2.2) <u>Cenni sulle oscillazioni di marea</u>	A.5
2.3) <u>Dati di vento dell'Aeronautica militare e civile</u>	A.8
2.4) <u>Informazioni dell'Istituto Idrografico della Marina su vento e mare</u>	A.13
2.5) <u>Metodo S.M.B. di ricostruzione del moto ondoso dal vento</u>	A.20
3) <u>ANALISI DEI DATI ONDOSI PREESISTENTI A DISPOSIZIONE PER IL MEDIO ADRIATICO ED INDIVIDUAZIONE DEI RISPETTIVI REGIMI ONDOSI MEDI AL LARGO</u>	A.23
3.1) <u>Analisi ed elaborazione dei dati K.N.M.I.</u>	A.23
3.2) <u>Misure di moto ondoso delle boe della Regione Marche al largo di Ancona</u>	A.29
3.3) <u>Misure di moto ondoso della Rete Ondametrica Nazionale (R.O.N.) al largo di Pescara</u>	A.37
3.4) <u>Analisi dei dati ondosi dalle piattaforme dell'A.P.I.</u>	A.44
4) <u>ELABORAZIONI PRINCIPALI SUI DATI ONDOSI A DISPOSIZIONE</u>	
4.1) <u>Determinazione della relazione più probabile fra altezza e periodo ondosi significativi</u>	A.47
4.2) <u>Analisi delle onde estreme</u>	A.60
4.2.1) Selezione dei dati da analizzare	A.60
4.2.2) Scelta della legge probabilistica.....	A.60
4.2.3) Calcolo dei parametri della distribuzione probabilistica.....	A.61
4.2.3.1) Metodo dei minimi quadrati	A.62
4.2.4) Calcolo del valore estremo con fissato tempo di ritorno per le varie leggi di probabilità. Descrizione dell'elaborazione per i dati del K.N.M.I. “Settore italiano”	A.62
4.2.5) Correzione del valore estremo con fissato tempo di ritorno, quando la distribuzione della popolazione non è nota.....	A.64
4.2.6) Calcolo dei limiti di confidenza.....	A.66

4.2.7) Conclusioni per l'elaborazione delle serie tronche di dati estremi del K.N.M.I.	A.67
4.2.8) Descrizione dell'elaborazione delle onde estreme della boa della R.O.N. di Pescara	A.87
4.2.8) Descrizione dell'elaborazione delle onde estreme dei dati dell'A.P.I.....	A.101
4.3) <u>Determinazione dell'altezza d'onda di progetto da considerare nel dimensionamento di eventuali opere di difesa costiera</u>	A.106
5) <u>MISURE DI MOTO ONDOSI DELLA BOA APPARTENENTE ALLA RETE ONDAMETRICA NAZIONALE (R.O.N.) AL LARGO DI ANCONA</u>	A.108
5.1) <u>Confronto tra i rilievi ondometrici di moto ondoso</u>	A.121
6) <u>ANALISI DEI VALORI ESTREMI PER I DATI RILEVATI DALLA BOA DIREZIONALE WIVERIDER AL LARGO DI ANCONA NEL PERIODO DI OSSERVAZIONE 1999-2000</u>	A.125
6.1) <u>Individuazione delle mareggiate e dei dati per le elaborazioni degli eventi estremi</u>	A.125
6.2) <u>Analisi delle altezze d'onda estreme per i dati rilevati al largo di Ancona nel 1999-2000</u>	A.127
6.3) <u>Determinazione delle mareggiate triangolari equivalenti</u>	A.140
6.4) <u>Determinazione dei tempi di ritorno e della persistenza media delle mareggiate</u>	A.146
7) <u>MODELLI SPETTRALI DI PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSI DAL LARGO VERSO LA COSTA</u>	A.150
7.1) <u>Il modello spettrale TMAR</u>	A.150
7.2) <u>Il modello spettrale LW</u>	A.152
7.3) <u>Il modello spettrale AFS</u>	A.154
7.4) <u>Applicazioni del modello spettrale AFS lungo la costa marchigiana</u>	A.156
8) <u>CARATTERISTICHE ONDOSE DA UTILIZZARE NELLE APPLICAZIONI ANALITICO-NUMERICHE DI DINAMICA COSTIERA</u>	A.164
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	A.173

ANALISI DEI DATI METEOMARINI ESISTENTI

1) INTRODUZIONE

L'Art. 2 punto a) della Convenzione tra l'Istituto di Idraulica dell'Università di Ancona ed il Servizio dei Lavori Pubblici della Regione Marche, prevede che venga definito il clima d'onda agente sul litorale marchigiano, mediante l'elaborazione sia dei dati del moto ondoso esistenti ottenibili da ricostruzione dei dati anemometrici, dal KNMI, dalla RON, da piattaforme esplorative, da precedenti studi svolti sul litorale marchigiano e delle regioni contigue, che di quelli registrati dalla boa ondometrica direzionale installata dalla Regione Marche.

Nel presente capitolo di questa relazione vengono illustrati gli studi necessari per individuare il clima del moto ondoso sul litorale delle Marche a partire dalle misure a disposizione.

I dati presi in esame per le analisi del presente capitolo sono stati:

- a) i dati delle registrazioni di vento delle stazioni ITAV di Monte Cappuccini di Ancona dal 1951 fino al 1978, di Falconara Marittima dal 1960 fino al 1996 e di Grottammare dal 1967 al 1977. A tali dati è stato applicato il metodo S.M.B di ricostruzione del moto ondoso (paragrafi 2.3 e 2.5);
- b) i dati dell'Istituto Idrografico della Marina (Genova) riguardanti indicazioni di maree e correnti superficiali, i risultati di elaborazioni su misure del vento e su osservazioni a vista dello stato del mare dalla stazione di Monte Cappuccini di Ancona fino al 1963 (paragrafi 2.1, 2.2 e 2.4);
- c) i dati ondosi forniti dall'Istituto Meteorologico Reale Olandese (K.N.M.I.), rilevati nel periodo 1961-95 sull'area di Adriatico di latitudine 42°-45°N e di longitudine 12°-16°E (paragrafo 3.1);
- d) i dati rilevati dalle boe ondometriche *Wavec* (direzionale) e *Waverider* (non direzionale), gestite dall'Istituto di Idraulica dell'Università di Ancona, posizionate al largo di Ancona nel periodo 1989-1990 (paragrafo 3.2);
- e) i dati acquisiti dalla boa ondometrica della Rete Ondometrica Nazionale (R.O.N.) posizionata al largo di Pescara fra il 1989 ed il 1995 (paragrafo 3.3);
- f) i dati ondometrici non direzionali rilevati dalla società API dalla piattaforma fuori-costa dell'API al largo di Falconara Marittima per complessivi 18 mesi suddivisi in tre diversi periodi negli anni 1981-82-83 (paragrafo 3.4)

g) i dati rilevati nel periodo 1999÷2000 dalla boa ondometrica direzionale *Directional Waverider* posizionata, a carico della Regione Marche per il primo varo, al largo di Ancona, poi entrata subito a far parte della Rete Ondometrica Nazionale (R.O.N.) (paragrafo 5).

Nonostante ripetute richieste la Società Agip non ha fornito i dati di moto ondoso rilevati dalla stazione della piattaforma fuori-costa Barbara, relativi comunque a periodi di tempo limitati.

Inoltre nel presente capitolo sono esposti, precisamente nel paragrafo 5.1, i principali confronti fra le diverse raccolte dei dati ondosi disponibili, sia preesistenti che rilevati di recente.

Nel paragrafo 4 sono esposti le elaborazioni finalizzate a stabilire il legame statisticamente più probabile fra altezza e periodo ondosi significativi, le elaborazioni delle onde estreme e lo schema per individuare le caratteristiche delle onde di progetto per il calcolo, ad esempio, delle strutture di protezione costiera, riguardanti le raccolte dei dati ondosi preesistenti al presente studio.

Nel paragrafo 6 vengono invece descritte le analisi delle altezze d'onda estreme e di alcune caratteristiche delle mareggiate riguardanti i dati ondosi rilevati dal recente sito ondometrico al largo di Ancona della Rete ondometrica nazionale.

Nel paragrafo 7 sono stati descritti i modelli spettrali utilizzati per lo studio della propagazione delle onde dalle acque profonde verso la costa nonché i calcoli per ottenere le caratteristiche delle onde modellatrici equivalenti da considerare nelle applicazioni analitico-numeriche di dinamica costiera.

2) CONDIZIONI METEOMARINE GENERALI DI CORRENTI, MAREE E VENTI LUNGO LA COSTA MARCHIGIANA ED APPLICAZIONE DEL METODO DI RICOSTRUZIONE DEL MOTO ONDO SO A PARTIRE DAL VENTO

2.1) Cenni di correnti superficiali

Il forte gradiente di densità che si viene a formare fra le coste italiane e slave nell'alto Adriatico costituisce il motore delle correnti superficiali di gradiente ascendenti lungo la costa dalmata e discendenti lungo quella italiana, che sono il motivo dominante della circolazione dell'Adriatico.

Lungo la costa adriatica occidentale tale corrente litoranea di circolazione si risente generalmente fino a 5-6 miglia marine dalla costa, ma, in taluni casi, può anche oltrepassare le 15 miglia marine da terra. In mancanza di relative misurazioni estese nel tempo e nello spazio, si stima che raggiunga la massima intensità a circa 2-3 miglia marine dalla riva. A 5-10 miglia marine dalla costa l'intensità media della corrente raggiunge, in diversi mesi dell'anno, il mezzo nodo come indicato dall'Istituto Idrografico della Marina (si veda la Figura 2.1.1 relativamente ad esempio alle condizioni medie nel mese di marzo).

Un tale schema generale di circolazione è modulato però, nella sua intensità, dalla periodicità delle stagioni, dalla più o meno ingressione nell'Adriatico di acqua proveniente dal Mediterraneo orientale, dalla più o meno portata del fiume Po, oltre che dalle condizioni meteorologiche (si intensifica considerevolmente con venti settentrionali, specie in inverno quando tale condizione può mantenersi persistente anche per lunghi periodi di tempo). Con tempo buono la velocità della corrente è generalmente di circa un nodo d'estate e 2-3 nodi d'inverno, ma con Tramontana e Ponente-Maestro può anche raggiungere i 5-6 nodi nel tratto estremo più settentrionale della costa marchigiana (dalle indicazioni riportate sul Portolano dell'I.I.M.).

La corrente litoranea mantiene la sua direzione normale (verso SE) fin presso il promontorio di Ancona. Una sua ramificazione costiera passa a circa 300 m da terra e, dove il litorale forma gomito, si inflette nell'insenatura a Sud del porto costeggiando le strutture presenti ed intensificandosi fino a raggiungere e superare la velocità di 3 nodi. Essa quindi lambisce il molo sud attuale, attraversa l'attuale imboccatura portuale da Sud verso Nord, raggiunge la testata del molo nord attuale e, una volta oltrepassate anche le strutture del bacino dei cantieri navali, finalmente ripiega di nuovo per riprendere la primitiva direzione, superato il promontorio della Città, e lambire in tal modo il tratto meridionale del litorale marchigiano.

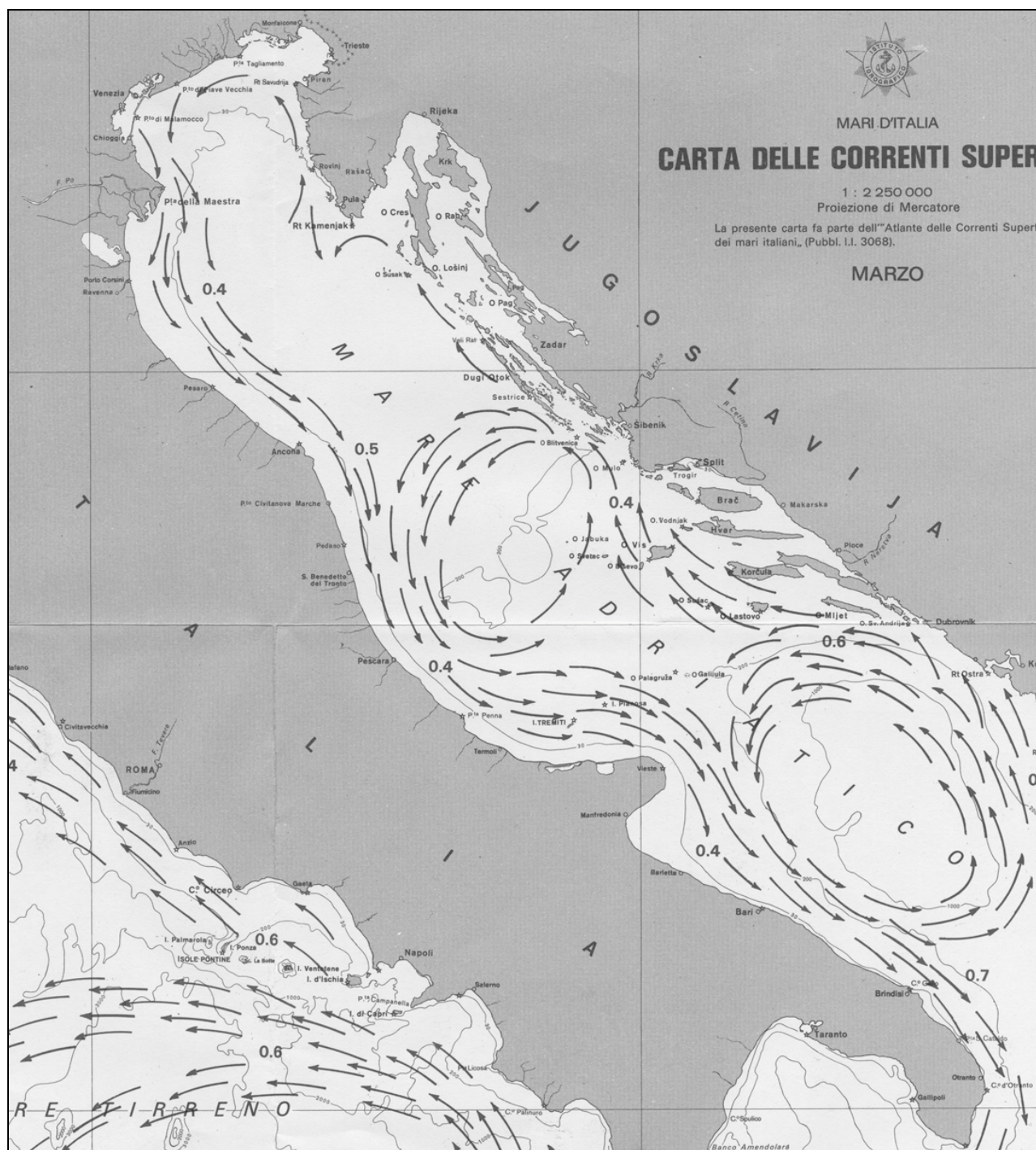


Figura 2.1.1 – Carta delle correnti superficiali nel mare Adriatico centro-settentrionale del mese di marzo (da Istituto Idrografico della Marina)

2.2) Cenni sulle oscillazioni di marea

Le oscillazioni della marea astronomica nel mare Adriatico non sono autonome ma risultano indotte: esse vengono prevalentemente innescate dalle oscillazioni di marea ioniche.

Le maree semidiurne presentano un nodo anfidromico (punto in cui le escursioni di marea si annullano) posto a circa 20 miglia marine a NE di Ancona con linee cotidali che ruotano intorno ad esso in senso antiorario (Figura 2.2.1). Lungo la costa marchigiana, per la vicinanza al suddetto punto, le maree hanno un andamento generalmente diurno, cioè le componenti principali della marea sono quelle diurne. Ciò si riscontra anche osservando i valori delle costanti armoniche della marea valide per il porto di Ancona riportate nella Tabella seguente:

Tabella 2.2.1 - Costanti armoniche della componente astronomica della marea nel porto di Ancona

componente	M ₂	S ₂	N ₂	K ₂	K ₁	O ₁	P ₁
H(cm)	6,6	3,5	1,2	1	13,2	4,1	4,4
g°(gradi)	332	347	326	347	88	74	88

L'oscillazione del livello della superficie del mare è molto influenzato, oltre che dai fattori astronomici, anche da quelli meteorologici. Ad esempio, lungo la costa marchigiana, risultano particolarmente influenti i venti: con forte Bora si sono talvolta verificate ampiezze di marea superiori al metro, come indicato sul Portolano. Le massime alte maree si verificano in autunno, in condizioni di bassa pressione. Con tempo cattivo e con burrasche provenienti da Scirocco-Levante si verificano sopraelevazioni del livello del mare ben oltre il metro di altezza, con valori crescenti risalendo la costa da meridione verso la parte settentrionale. I più bassi livelli delle acque (abbassamenti oltre il mezzo metro e fino al metro nel tratto settentrionale della Regione) si hanno in inverno, con tempo buono e con venti settentrionali.

Dal punto di vista mareometrico il porto di Ancona risulta essere il più monitorato essendo sede di un mareografo registratore funzionante da più decenni. Sono quindi state rilevati dati per una lunga estensione di anni, ma le informazioni raccolte non sono disponibili al pubblico in forma completa, ma solo in forma parziale. Solo con la recente istituzione della Rete Mareografica Nazionale da parte dei Servizi Tecnici Nazionali potranno, ma solo nel prossimo futuro, essere disponibili i dati aggiornati in quanto è stata istituita ufficialmente anche nel porto di Ancona una stazione mareografica fissa della rete.

Dalle informazioni già note dal passato si può far riferimento a quelle indicate sul Portolano dell'Istituto Idrografico della Marina Militare, che vengono riportate di seguito.

Nel porto di San Benedetto del Tronto le maree sono le meno notevoli della costa occidentale adriatica: ampiezza media alle sizigie 19 cm, pressoché nulla alle quadrature.

Nel porto di Ancona, le ampiezze massime delle maree astronomiche oscillano intorno ai 58 cm. L'ampiezza media alle sizigie è di 47 cm mentre alle quadrature è di 14 cm. Lo stabilimento volgare del porto è di 10 ore e 28 minuti. La quota Z_0 (differenza fra il livello medio mare ed il livello di riferimento degli scandagli) è di 30 cm.

Nel porto di Pesaro l'ampiezza media della marea si aggira sui 50 cm, con qualche variazione in dipendenza delle condizioni meteomarine: i venti del II e III quadrante tendono ad elevare le alte maree e ad abbassare le basse, analogo effetto produce la bassa pressione atmosferica, mentre l'alta pressione produce l'effetto contrario. Lo stabilimento del porto è di 10 ore e 45 minuti.

Nel porto canale di Cattolica-Gabicce l'alta e bassa marea raggiungono giornalmente un dislivello massimo di un metro.

Il dislivello medio delle basse maree sizigie è di 27 cm a San Benedetto del Tronto, 30 cm in Ancona e 37 cm a Pesaro, secondo le indicazioni riportate dalla cartografia nautica dell'I.I.M..

Per quanto riguarda i massimi livelli marini rilevati, merita un cenno particolare l'evento di carattere eccezionale verificatosi nella notte fra il 31-1-1986 ed il 1-2-1986 lungo l'intero arco costiero adriatico centro-settentrionale, monitorato da mareografi posizionati temporaneamente sia a Pesaro che a San Benedetto che in Ancona, e notevole per i suoi riflessi sul litorale e sulle opere di difesa esistenti. In tale occasione si è sovrapposto un fenomeno di acqua alta ad una mareggiata di intensità valutata dal Servizio Mareografico della Marina con vento a forza 7-8 al largo, altezza d'onda di 3,5-4 m con direzione di provenienza ESE. I valori massimi del dislivello sono stati raggiunti fra le 2 e le 5 del mattino e sono decrescenti andando da Nord verso Sud. A Pesaro sono stati registrati 104 cm, ad Ancona 86 cm, mentre a San Benedetto il livello raggiunto è stato pari a 47 cm, valore quest'ultimo che non è poi molto lontano dai valori usuali di alta marea.

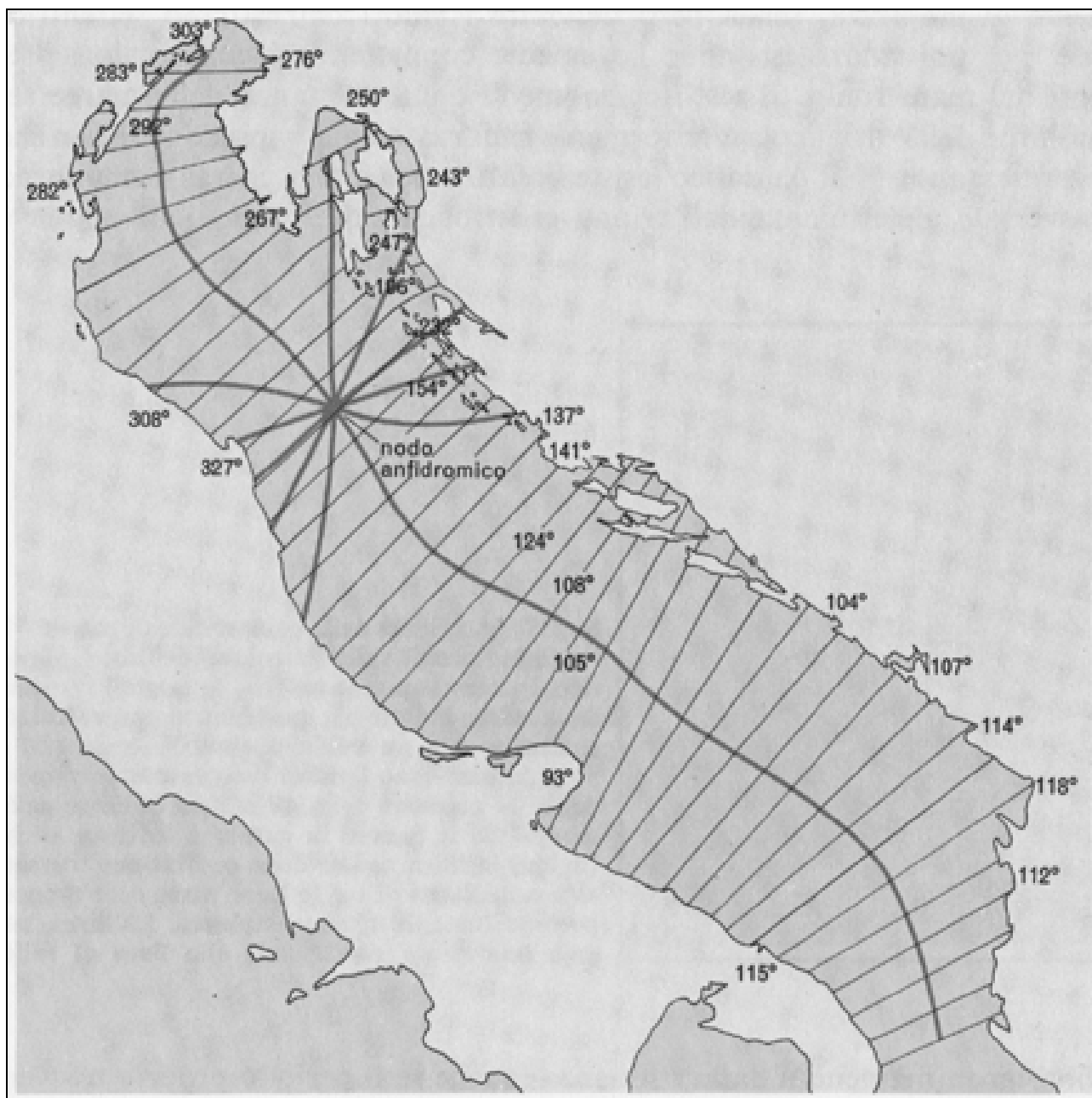


Figura 2.2.1 – Linee cotidali e nodo anfidromico dell'onda della marea semidiurna nell'Adriatico

2.3) Dati di vento dell'Aeronautica militare e civile

Le stazioni costiere di osservazione meteorologica gestite dall'ITAV dell'Aeronautica Militare e dall'ENAV dell'Aeronautica civile nella zona marchigiana sono quelle di Monte Cappuccini in Ancona (attualmente dismessa), Falconara Marittima e Grottammare (attualmente dismessa).

Le caratteristiche di posizione ed altitudine degli strumenti di misura anemometrica di queste stazioni sono:

stazione	Posizione geografica	Quota stazione s.l.m.m. (m)	Altezza strumento sul terreno (m)
Ancona-Monte Cappuccini	43°38'N 13°31'E	106	10
Falconara Marittima	43°37'N 13°22'E	9	13
Grottammare	42°59'N 13°52'E	13	8

Occorre osservare che la stazione di Monte Cappuccini in Ancona è propriamente costiera, ma si trova sulla cima della scoscesa rupe a mare del colle omonimo, che si affaccia sul mare in direzione NNE. Le rilevazioni anemometriche risentono fortemente della particolare morfologia di questo sito di misura, per cui esse non risultano adatte alla ricostruzione del moto ondoso in mare aperto. Di tale stazione, funzionante già dal 1930 (fino al 1964 sotto la gestione della Marina Militare), si dispone dei dati di vento su supporto cartaceo dal 1951 al 1978, anno in cui la stazione è stata chiusa. Nella Tabella 2.3.1 sono riportate le frequenze (in ore ed in percentuale) di intensità e direzione dei dati anemometrici relativi a tale stazione rilevati nel periodo 1951-1978. L'arco direzionale è suddiviso in settori di 45°; le intensità sono suddivise in classi secondo i valori della forza del vento della scala Beaufort. Nella Fig. 2.3.1 si riporta il grafico della distribuzione direzionale delle frequenze percentuali dei dati anemometrici della stazione Monte Cappuccini di Ancona.

La stazione di Falconara Marittima non è propriamente costiera ma è situata nella pianura dell'aeroporto a circa 3 km dal mare. I dati, non trovandosi proprio in mare aperto, risentono dell'influenza delle strutture naturali o artificiali presenti nel paraggio. La loro direzione risente soprattutto dalla vallata del fiume Esino nella cui pianura la stazione di misura risulta collocata. I dati direzionali tendono a disporsi lungo l'asse della vallata, cioè in direzione NE-SO. Anche le intensità risultano influenzate dalla catena di colline limitrofe, che offrono ovviamente significativo ridosso ai venti che spirano in direzione trasversale alla Vallesina. Quindi anche tale stazione risulta non certo ideale per la determinazione del vento spirante in mare aperto ai fini della ricostruzione del moto ondoso.

Di tale stazione di Falconara Marittima si dispone dell'intera serie dei dati meteorologici su supporto magnetico dal 1960 al giugno 1996. Nella Tabella 2.3.6 si riportano le frequenze in intensità e direzione dei dati di vento rilevati nel periodo 1960-1996. Nella Fig. 2.3.2 si riporta il grafico della distribuzione direzionale delle frequenze percentuali dei dati anemometrici di tale stazione.

La stazione di Grottammare è situata nella pianura della vallata del fiume Tesino (nell'aviosuperficie) in vicinanza del mare. I dati direzionali ed anche le intensità risultano influenzate dalla morfologia della zona. Quindi anche tale stazione risulta non certo ideale per la determinazione del vento spirante in mare aperto ai fini della ricostruzione del moto ondoso. Della stazione di Grottammare si dispone della serie dei dati anemometrici su supporto cartaceo dal 1967 al 1977, anno in cui cessò la sua attività. Nella Tabella 2.3.6 si riportano le frequenze in intensità e direzione dei dati di vento rilevati nel periodo 1967-1977. Nella Fig. 2.3.2 si riporta il grafico della distribuzione direzionale delle frequenze percentuali dei dati anemometrici di tale stazione.

In ogni caso le osservazioni anemometriche delle stazioni dell'I.T.A.V. sono triorarie (i primi anni di Falconara Marittima mancano però delle informazioni nel periodo notturno) e viene riportata l'indicazione dei valori medi di intensità e direzione nei 10' antecedenti l'ora della registrazione.

Tabella 2.3.1 – Distribuzione delle frequenze (in ore e percentuali) di intensità-direzione dei 78544 dati anemometrici triorari della stazione Monte Cappuccini di Ancona. Periodo di rilevamento: 1951-1978. Dati relativi all'intero periodo dell'anno

I N T E R O A N N O	CLASSE	VELOCITA' VENTO			FORZA GRADI BEAUFORT	DIREZIONE di PROVENIENZA del VENTO								TOTALE ore
		nodì	km/h	m/s		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
I N T E R O A N N O	0	calma			0									50542 21,45
	1	1-20	1,9-37,0	0,5-10,3	1-5	23300 9,89	9834 4,17	13973 5,93	15566 6,61	29336 12,45	24696 10,48	38952 16,53	26431 11,22	182088 77,28
	2	21-30	38,9-55,6	10,8-15,4	5- 7	15,62 0,66	311 0,13	19 0,01	39 0,02	20 0,01	57 0,02	135 0,06	742 0,31	2885 1,22
	3	31-40	57,4-74,1	15,9-20,6	7-8	77 0,03	20 0,01	- -	- -	- -	- -	20 0,01	- -	117 0,05
	4	> 40	> 75,9	> 21,1	> 8	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
	TOTALE					ore 24939	10,165	13992	15605	29356	24753	39107	27173	50542
						percentuale 10,58	4,31	5,94	6,63	12,46	10,5	16,6	11,53	21,45
														235632 100

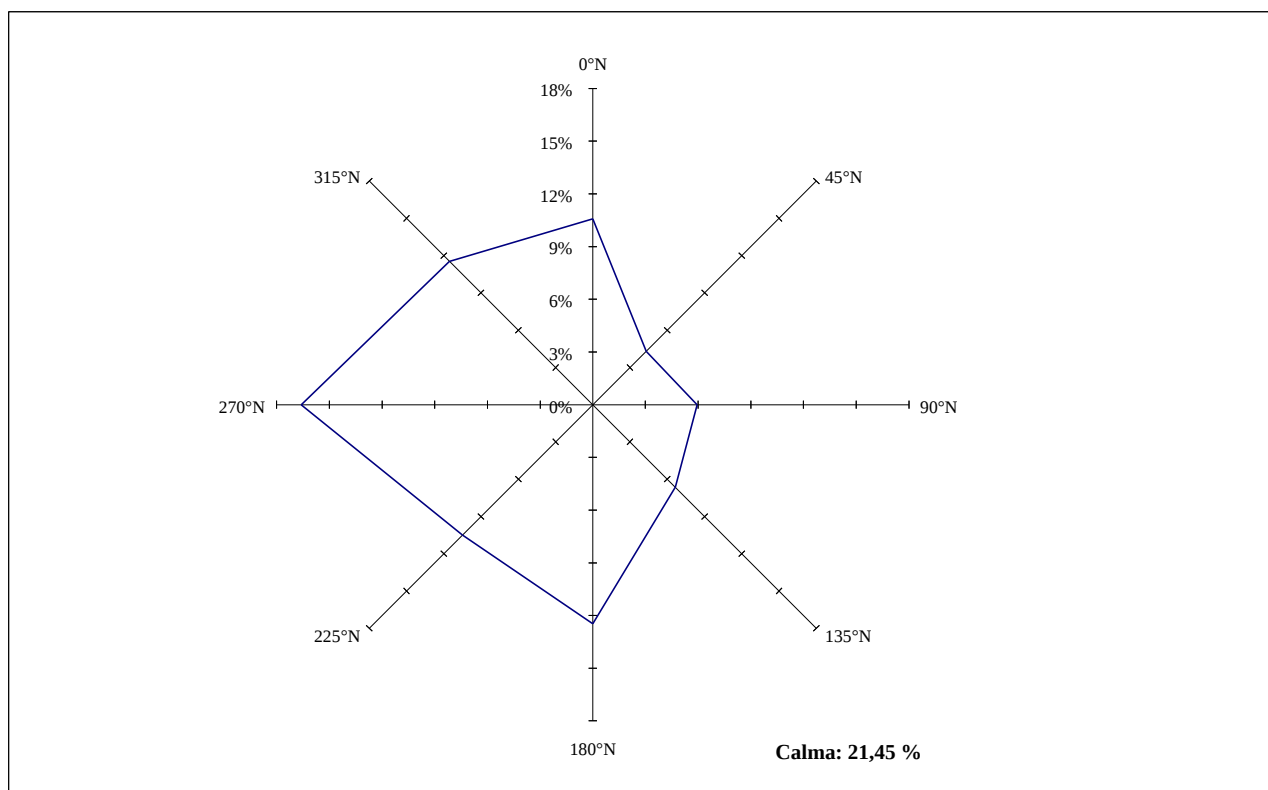


Figura 2.3.1 – Distribuzione direzionale delle frequenze percentuali dei 78544 dati anemometrici triorari di Monte Cappuccini di Ancona nel periodo 1951-1978

Tabella 2.3.2 - Distribuzione delle frequenze assolute per classi di direzione di provenienza e di intensità del vento dei 92072 dati triorari dell'ITAV a Falconara marittima. Periodo di rilevamento: gennaio 1960 - giugno 1996. Dati relativi all'intero periodo dell'anno

Direzione (gradi Nord)	Velocità del vento (nodi)										TOTALE
	calma	1-3	4-6	7-10	11-16	17-21	22-27	28-33	34-40	>40	
345 - 15	0	421	1958	1785	705	172	44	10	1	0	5096
15 - 45	0	395	2872	1673	755	289	118	15	8	0	6125
45 - 75	0	248	2385	2460	906	100	40	6	0	0	6145
75 - 105	0	151	733	745	270	40	9	2	0	0	1950
105 - 135	0	204	967	920	445	47	19	3	0	0	2605
135 - 165	0	439	1567	1075	355	55	3	1	0	0	3495
165 - 195	0	1105	2393	551	218	43	16	2	0	0	4328
195 - 225	0	1558	4142	1114	450	146	44	13	3	0	7470
225 - 255	0	620	1918	918	635	109	39	6	1	0	4246
255 - 285	0	400	1126	653	275	51	8	1	0	0	2514
285 - 315	0	405	1826	1254	643	88	22	4	0	0	4242
315 - 345	0	432	2328	2455	1401	200	43	3	1	0	6863
Variabile	0	7	44	46	17	7	5	0	0	0	126
TOTALE	36867	6385	24259	15649	7075	1347	410	66	14	0	92072

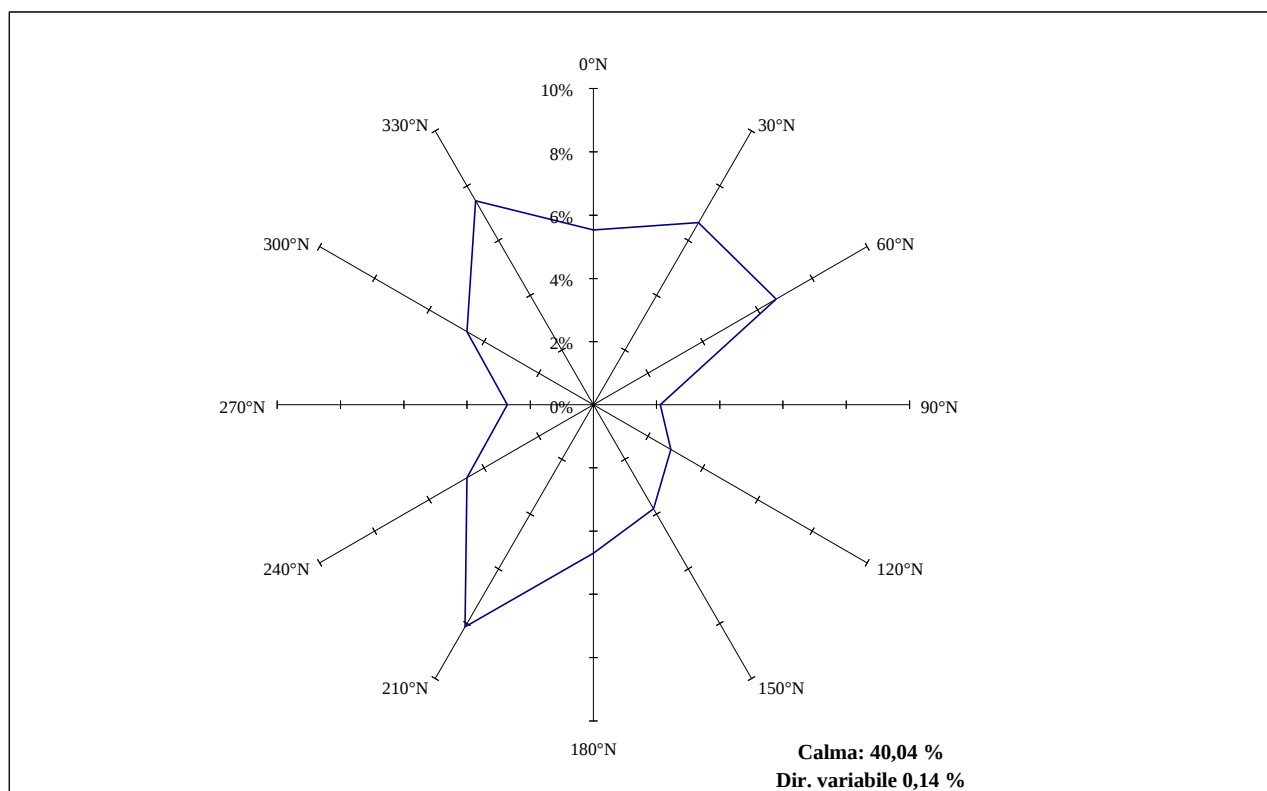


Figura 2.3.2 – Distribuzione direzionale delle frequenze percentuali dei 92072 dati anemometrici triorari di Falconara marittima nel periodo 1960-1996

Tabella 2.3.1 - Frequenze percentuali per classi di intensità e di direzione di provenienza dei 19365 dati anemometrici triorari della stazione I.T.A.V. di Grottammare. Periodo di rilevamento: 1967-1977. Dati relativi all'intero periodo dell'anno

A N N O	CLASSE	VELOCITA' VENTO			FORZA GRADI BEAUFORT	DIREZIONE di PROVENIENZA del VENTO									TOTALE	
		nodì	km/h	m/s		N	N E	E	S E	S	S W	W	N W	calma		
	0	calma			0									47	47	
	1	1-20	1,9-37,0	0,5-10,3	1-5	18,7	3,8	2,6	6,2	2,7	1,3	8,9	8		52,2	
	2	21-30	38,9-55,6	10,8-15,4	5- 7	0,4	0,2	-	-	-	-	-	-		0,6	
	3	31-40	57,4-74,1	15,9-20,6	7-8	0,1	-	-	-	-	-	-	-		0,1	
4	> 40	> 75,9	> 21,1	> 8	-	-	-	-	-	-	-	-		-		
TOTALE						percentuale	19,2	4	2,6	6,2	2,7	1,3	8,9	8	47	100

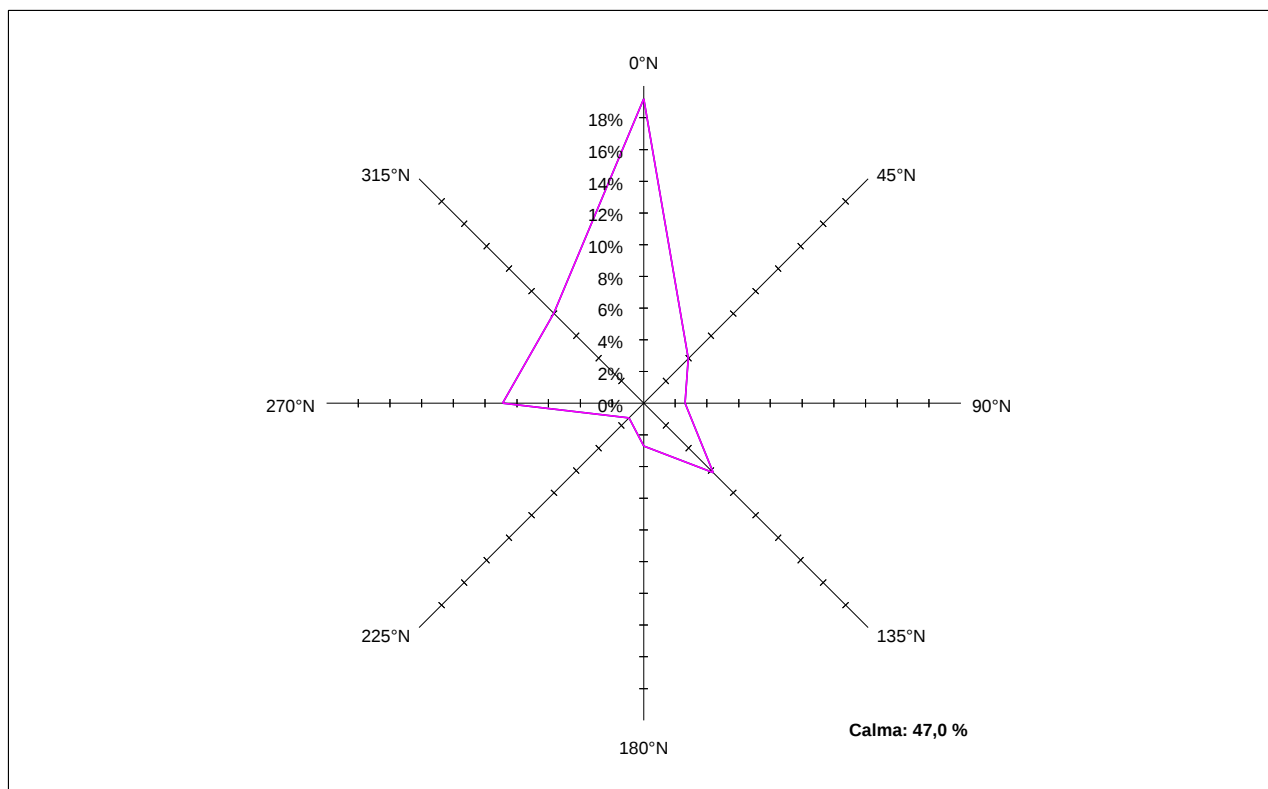


Figura 2.3.1 – Distribuzione direzionale delle frequenze percentuali dei 19365 dati anemometrici triorari di Grottammare nel periodo 1967-1977

2.4) Informazioni dell'Istituto Idrografico della Marina su vento e mare

Anzitutto sembra utile richiamare le osservazioni sui venti nei paraggi costieri marchigiani riportate sul *Portolano* dell'I.I.M..

Per la zona del porto di San Benedetto del Tronto predominano d'inverno i venti del I, II e IV quadrante. Quelli del I e II quadrante, burrascosi e spessissimo piovosi, durano da 3 a 5 giorni. Venti di traversia sono il Greco ed il Greco-Levante.

Anche per il tratto fra Porto Civitanova e Porto Recanati risultano dominanti il Greco ed il Greco-Levante. Quest'ultimo si leva improvvisamente, solleva mare grosso e genera forti correnti dirette verso Sud.

Per la zona del porto di Ancona i venti più pericolosi sono quelli del I quadrante: tra questi il Greco è frequente e violento. Con riferimento ai fenomeni stagionali: d'inverno dominano i venti del I quadrante (con fenomeni di burrasca) e del IV quadrante; nelle altre stagioni quelli del II, III e IV quadrante. Il Ponente genera foschia e nebbia; quest'ultima, densa e frequente in inverno, è accompagnata da calma di mare.

Per la zona di Senigallia risulta di traversia la Bora, il Maestrale ed il Levante. I primi due, predominanti in inverno, sono forti, burrascosi e quasi sempre piovosi. Anche il Libeccio soffia con particolare violenza.

Per la zona di Fano venti di traversia e violentissimi sono la Tramontana ed il Greco. In primavera ed in estate predominano la Bora e quelli del II quadrante; in autunno ed in inverno quelli del III e IV quadrante. Il Greco-Levante solleva mare altissimo.

Per la zona di Pesaro i venti sono molto variabili. I più frequenti nell'anno sono quelli del III quadrante e, tra essi, quello che spira più sovente è il Libeccio (detto Garbino dai locali), che d'estate è caldo ed asciutto. I venti hanno generalmente intensità modeste, con eccezione di quelli da Tramontana e Greco, specialmente la Bora, che possono superare anche i 100 km/ora. Le intensità maggiori si registrano in inverno, specie in dicembre e gennaio. Durante l'inverno prevalgono il Ponente ed il Maestro mentre i venti del I quadrante, pure molto forti, spirano per pochi giorni; questi sono portatori di tempo bello, freddo ed asciutto, ma di mare agitato. In primavera prevalgono il Greco ed il Libeccio, in estate il Greco, in autunno il Libeccio. Lo Scirocco è portatore di cattivo tempo, nuvole e pioggia. Venti di traversia sono quelli del I quadrante.

Nella zona del porto di Gabicce-Cattolica d'inverno predominano il Maestrale e la Tramontana; il primo è burrascoso, il secondo piovoso. Entrambi soffiano con notevole forza e hanno durata di 5-7 giorni. D'estate domina lo Scirocco, moderato, che dura 12 ore circa. In primavera ed in autunno i venti sono moderati; i più frequenti sono il Greco-Levante ed il Ponente.

Il Ponente porta nebbia, il Maestrone foschia, il Greco-Levante mare mosso, il Maestrone e la Tramontana forti correnti.

L'Istituto Idrografico della Marina dispone inoltre di una cospicua raccolta di dati riguardanti il vento e lo stato del mare sottocosta, rilevati 3 volte al giorno in 60 ex stazioni semaforiche, ovviamente costiere, della Marina Militare. Tali dati coprono periodi, variabili da stazione a stazione, compresi tra il 1927 ed il 1964, anno in cui i rilevamenti meteorologici effettuati da personale militare della Marina vennero a cessare. Il servizio di raccolta dei dati meteorologici passò all'Aeronautica militare, che dismise nel tempo alcune stazioni di rilevamento costiere privilegiando sempre più nel corso degli anni quelle funzionanti nelle zone aeroportuali.

I dati forniti dall'Istituto Idrografico della Marina per tali stazioni costiere sono i seguenti:

- rappresentazione grafica del settore di massima traversia e lunghezza del massimo *fetch*;
- rappresentazione grafica delle frequenze medie percentuali mensili ed annua del vento;
- rappresentazione grafica delle frequenze medie percentuali dello stato del mare costiero;
- tabella delle frequenze assolute del massimo mare verificatosi in ogni mese dell'anno;
- tabella delle massime durate delle mareggiate (grado del mare 6÷8);
- rappresentazione grafica direzionale delle frequenze percentuali delle burrasche di vento;
- rappresentazione grafica direzionale delle frequenze percentuali di provenienza delle mareggiate.

E' comunque da tenere presente che mentre per il vento i dati osservati derivano da misure strumentali e, come tali, rivestono un elevato grado di attendibilità, invece per lo stato del mare (costiero) i relativi dati sono stati rilevati unicamente mediante stime delle osservazioni a vista. Questi ultimi, pertanto, vanno necessariamente considerati, in generale, qualitativamente più approssimativi, dato che risentono non solo dei fattori soggettivi di valutazione propri dei diversi osservatori, ma anche dell'ubicazione delle stazioni rispetto al mare e specie della loro altitudine. Inoltre tali stime di moto ondoso si riferiscono ovviamente alle condizioni del mare visibile da terra, quindi pur sempre sottocosta, anche se non proprio a riva, e così non riguardano le condizioni ondose indisturbate di mare aperto in acque profonde. Ma essi rivestono comunque una indicazione di notevole importanza in quanto si tratta di rilevazioni delle condizioni del mare con cadenza abbastanza fitta e particolarmente estese negli anni, quindi in grado di fornire indicazioni che risultano sicuramente molto utili per individuare il regime ondoso nei relativi siti costieri.

Le direzioni dei venti e dei mari indicate dall'I.I.M. sono quelle di provenienza e sono suddivise per cadenze fisse in settori di 45° di ampiezza, secondo le direzioni e le sottodirezioni cardinali della rosa dei venti. I dati presentati dall'Istituto Idrografico sono ordinati secondo la scala Beaufort per quanto riguarda l'intensità del vento e la relativa scala in gradi Douglas dello stato del mare appunto per le condizioni ondose.

Delle stazioni costiere di misura dell'I.I.M. nel Medio ed Alto Adriatico, di particolare interesse, allo scopo del presente studio sulla costa marchigiana, è quella di Monte Cappuccini in Ancona, in quanto è l'unica che si trova nel territorio regionale (già l'altra più vicina, Colonnella, si trova in territorio abruzzese) ed è anche in posizione baricentrica per l'intera costa marchigiana. La stazione è ubicata sulla sommità della rupe a falesia a ridosso del bacino dei Cantieri Navali Fincantieri del porto di Ancona. Essa dispone di 30 anni non consecutivi di osservazioni, utili per le elaborazioni statistiche relative al vento ed allo stato del mare sottocosta. Dette elaborazioni, effettuate dall'Istituto Idrografico della Marina, forniscono i dati relativi alle frequenze medie percentuali del vento e dello stato di mare sottocosta, nonché alcune indicazioni sui massimi eventi di mare verificatisi e sulla durata massima delle mareggiate.

Dall'esame delle elaborazioni fornite dall'I.I.M. sui dati della stazione di Monte Cappuccini in Ancona si possono desumere le seguenti indicazioni generali relative alle condizioni anemometriche ed ondose rilevate nel sito:

- la direzione di provenienza del vento regnante è dai settori W e NW con una frequenza percentuale complessiva maggiore del 40%;
- lo stato di mare con altezza d'onda superiore ad 1 m rappresenta circa il 10% delle osservazioni;
- nei 30 anni di rilevamento sono stati osservati rispettivamente 35 eventi estremi con massima altezza d'onda maggiore di 2,5 m e 16 mareggiate (mare 6÷8) con durata maggiore di 24 ore;
- oltre il 50% delle burrasche di vento (forza 7÷12) e delle mareggiate (mare 6÷8) ha direzione di provenienza compresa nei settori N e NE.

Nelle pagine seguenti viene riportata la raccolta degli elaborati, in forma di grafici e di tabelle, dell'Istituto Idrografico della Marina relativi alla stazione di Monte Cappuccini di Ancona, tratti dalla pubblicazione *“Il vento e lo stato del mare lungo le coste italiane dell'Adriatico”* Vol. IV.

Tabella 2.4.1 – Elenco riepilogativo delle stazioni costiere di rilevamento dell’Istituto Idrografico della Marina lungo le coste adriatiche e delle loro principali caratteristiche

STAZIONI		Coord. geografiche		Altezza sul livello del mare	Annate elaborate per il calcolo delle frequenze medie			n°. anni
		Lat. N	Long. E (Grv)		relative al vento	n°. anni	relative allo stato del mare	
1	PUNTA PENNA	42° 10'	14° 43'	28 m	1945 da Lug. a Dic.; 1946 ÷ 55; 1956 da Gen. a Giu.	11	1945 da Lug. a Dic.; 1946 ÷ 55; 1956 da Gen. a Giu.	11
2	COLONNELLA	42° 52'	13° 54'	227 m	1930 ÷ 42.	13	1930 ÷ 42.	13
3	MONTE CAPPUCCINI (Ancona)	43° 37'	13° 31'	116 m	1930 ÷ 42; 1946 ÷ 58; 1960 ÷ 63.	30	1930 ÷ 42; 1946 ÷ 58; 1960 ÷ 63.	30
4	PORTO CORSINI	44° 29'	12° 17'	2 m	1930 ÷ 42; 1947 da Feb. a Dic.; 1948 ÷ 63; 1964 solo Gen.	30	1930 ÷ 42; 1947 da Feb. a Dic.; 1948 ÷ 63; 1964 solo Gen.	30
5	VENEZIA LIDO	45° 26'	12° 23'	13 m	1930 ÷ 42; 1946 da Mar. a Dic.; 1947 ÷ 63; 1964 Gen. e Feb.	31	1930 ÷ 42; 1947 ÷ 63.	30
6	PUNTA TAGLIAMENTO	45° 38'	13° 06'	8 m	1950 ÷ 52; 1954 ÷ 71.	21	1950 ÷ 52; 1954 ÷ 71.	21
7	BARCOLA (Trieste)	45° 40'	13° 45'	70 m	1930 ÷ 42; 1944.	14	1930 ÷ 42; 1944.	14
8	MUSILE (Pola)	44° 52'	13° 48'	83 m	1930 ÷ 42.	13	1930 ÷ 42.	13
9	FIUME	45° 20'	14° 27'	12 m	1931 da Feb. a Dic.; 1932 ÷ 41; 1942 solo Gen.	11	1931 da Feb. a Dic.; 1932 ÷ 41; 1942 solo Gen.	11
10	MONTE CONFIN (Cherso)	44° 46'	14° 27'	202 m	1931 da Mag. a Dic.; 1932 ÷ 42; 1943 da Gen. a Apr.	12	1932 ÷ 42.	11
11	ISOLA DI ASINELLO	44° 27'	14° 33'	93 m	1933 ÷ 42.	10	1933 ÷ 42.	10
12	PUNTA AMICA (Zara)	44° 08'	15° 12'	2 m	1930 ÷ 38; 1940.	10	1930 ÷ 38; 1939 da Mar. a Dic.; 1940; 1941 Gen. e Feb.	11
13	ISOLA DI LAGOSTA	42° 46'	16° 54'	188 m	1930 ÷ 42.	13	1930 ÷ 42.	13
14	DURAZZO	41° 19'	19° 27'	5 m	1930 da Mar. a Dic.; 1931 Gen. e Feb.; 1932 ÷ 42.	12	1932 ÷ 42.	11
15	ISOLA DI SASENO	40° 30'	19° 16'	340 m	1930 ÷ 34; 1937; 1938 da Ago. a Dic.; 1939 ÷ 42; 1943 da Gen. a Lug.	11	1930 ÷ 42.	13

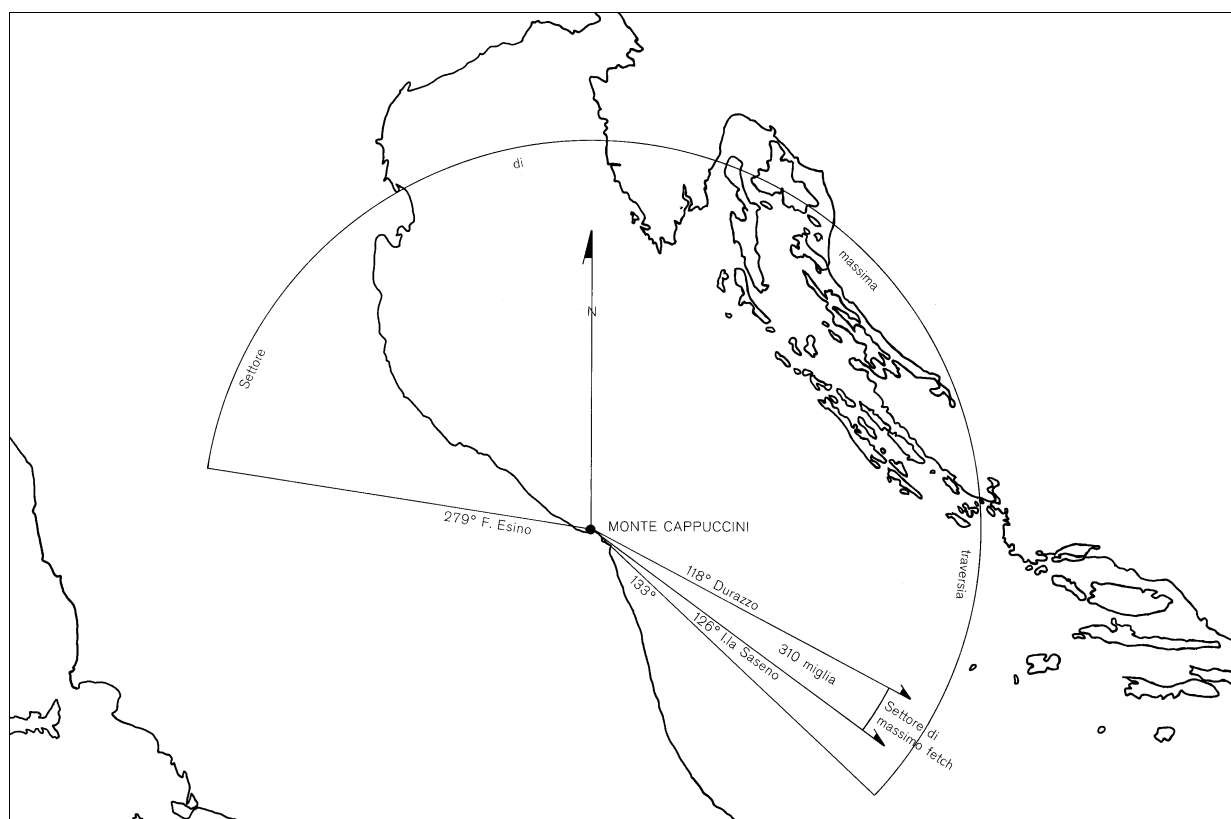


Figura 2.4.1 – Settore di massima traversia e settore di massimo fetch per la stazione di Monte Cappuccini in Ancona

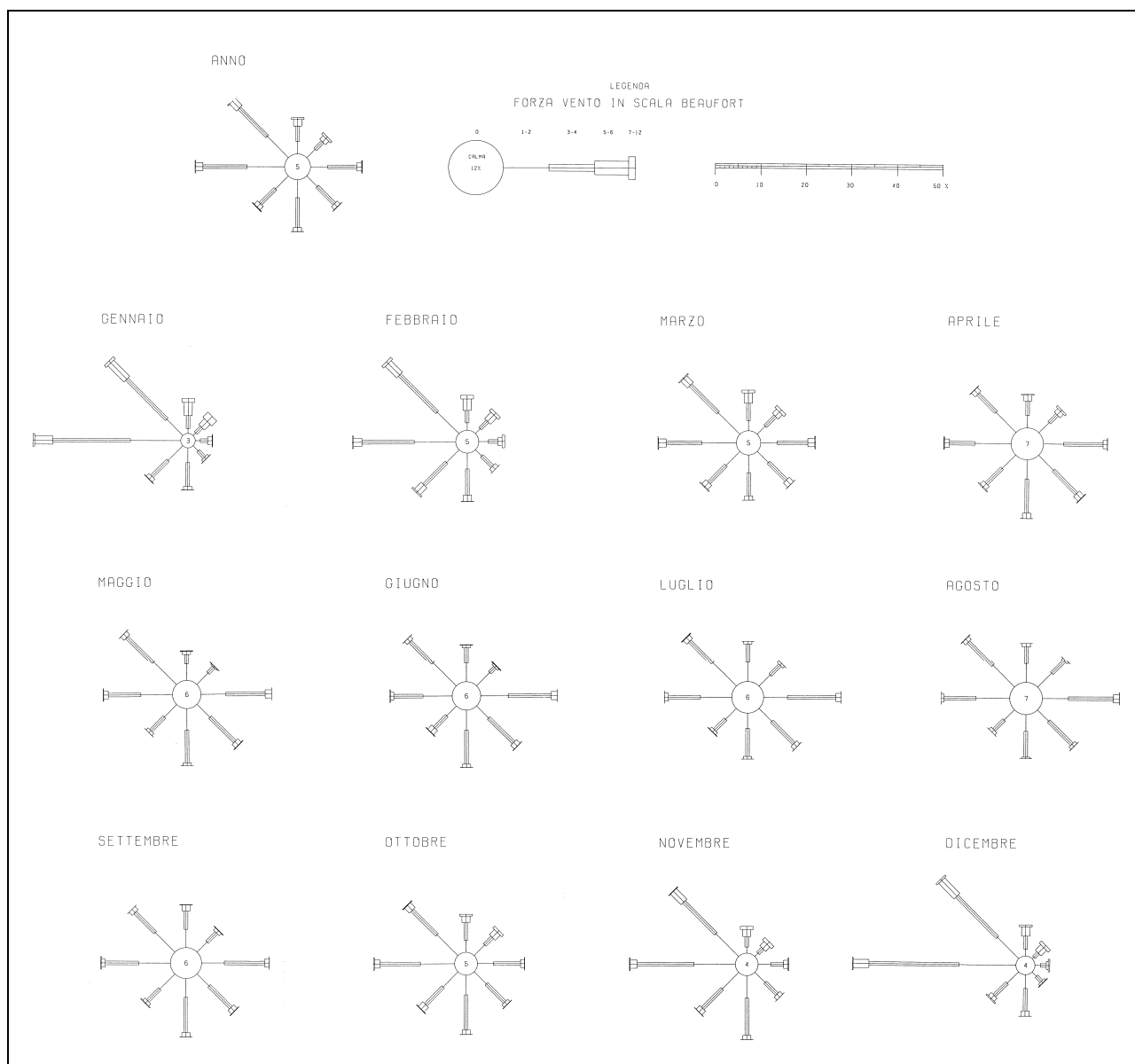


Figura 2.4.2 – Distribuzione direzionale delle frequenze percentuali medie annue e mensili dell'intensità del vento nella stazione di Monte Cappuccini in Ancona

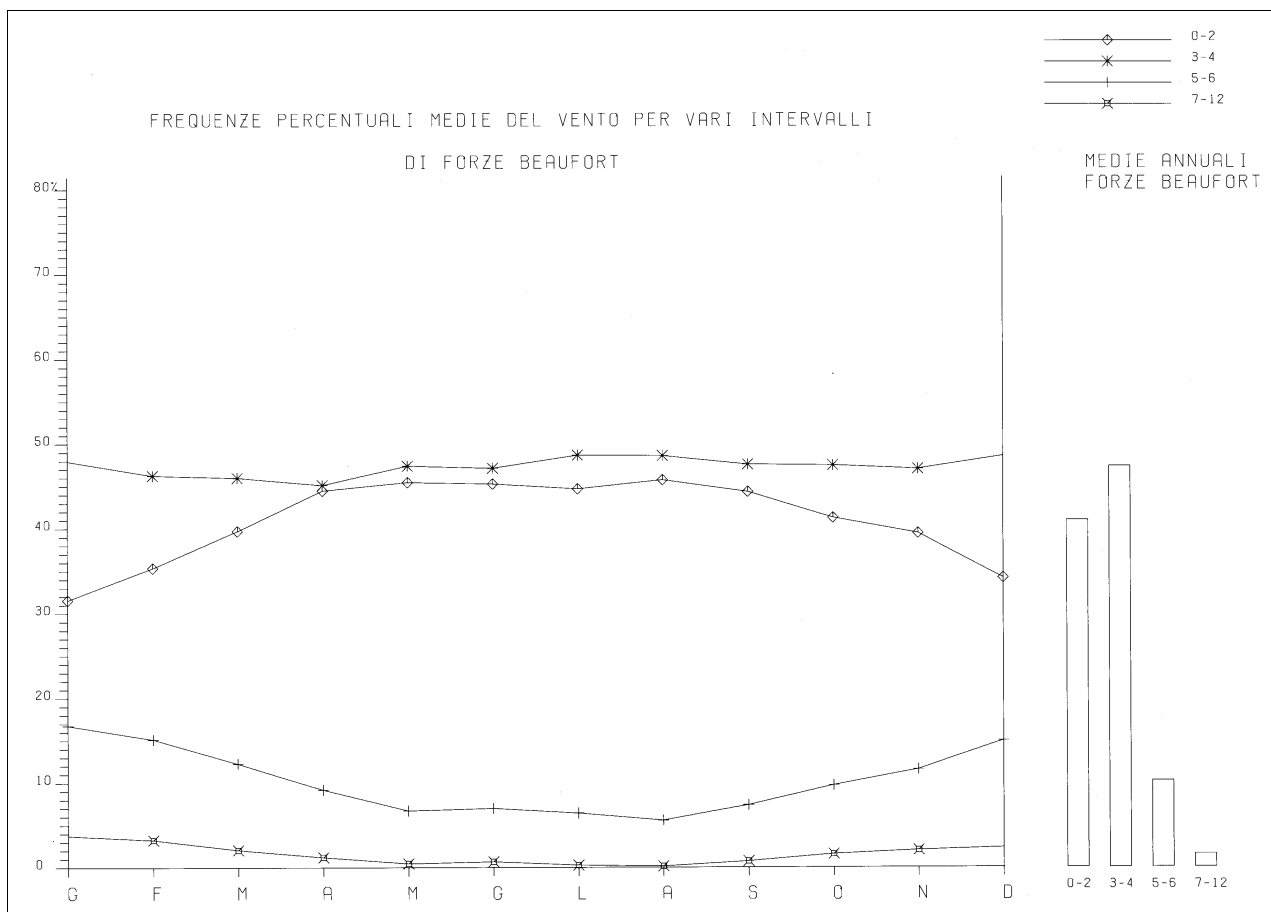


Figura 2.4.3 – Distribuzione delle frequenze percentuali medie annue e mensili dell'intensità del vento alla stazione di Monte Cappuccini in Ancona

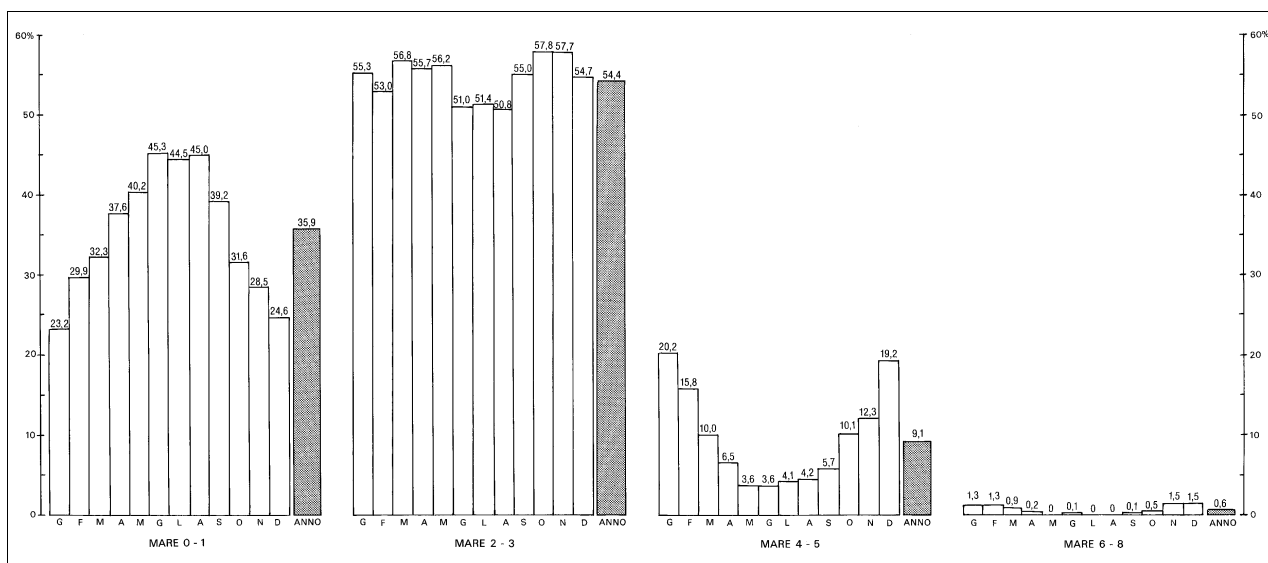


Figura 2.4.4 – Distribuzione delle frequenze percentuali medie annue e mensili dell'intensità del mare alla stazione di Monte Cappuccini in Ancona suddivise in classi di gradi Douglas

Tabelle 2.4.2 – Massimo mare osservato nei singoli mesi, con relativa durata, e durata massima delle mareggiate osservate dalla stazione di Monte Cappuccini in Ancona

MASSIMO MARE VERIFICATOSI NEI SINGOLI MESI E RELATIVE FREQUENZE				DURATA MASSIMA DELLE MAREGGIATE (mare 6 ÷ 8)			
Mese	Stato del mare	Frequenza in giorni	Direzione di provenienza	Mese	Durata (ore)	Stato del mare	Direzione di provenienza
Gen.	8	1	NE	Nov.	58	6	NE
Feb.	8	1	NE	Dic.	42	6 - 7	N
Mar.	7	4	3 NE - 1 NNW	Mar.	40	6 - 7	NE
Apr.	6	4	3 NE - 1 SSE	Dic.	40	6 - 8	E
Mag.	5	6	1 N - 1 NNE - 1 ENE - 1 E - 2 NW	Dic.	40	6	NE
Giu.	6	2	1 NNE - 1 NE	Gen.	34	6	NE
Lug.	6	1	NW	Ott.	34	6 - 7	NW
Ago.	5	9	3 N - 1 NE - 1 E - 3 NW - 1 NNW	Nov.-Dic.	32	6	ENE
Sett.	7	1	SE	Feb.-Mar.	30	6	N
Ott.	7	2	1 NNE - 1 NW	Gen.	28	6 - 8	NE
Nov.	8	2	2 NE	Feb.	28	6 - 7	E
Dic.	8	2	2 E	Feb.	28	6	NW
				Mar.	28	6	NE
				Dic.	28	6 - 7	NE
				Nov.	26	6	ENE
				Feb.	24	6 - 7	E

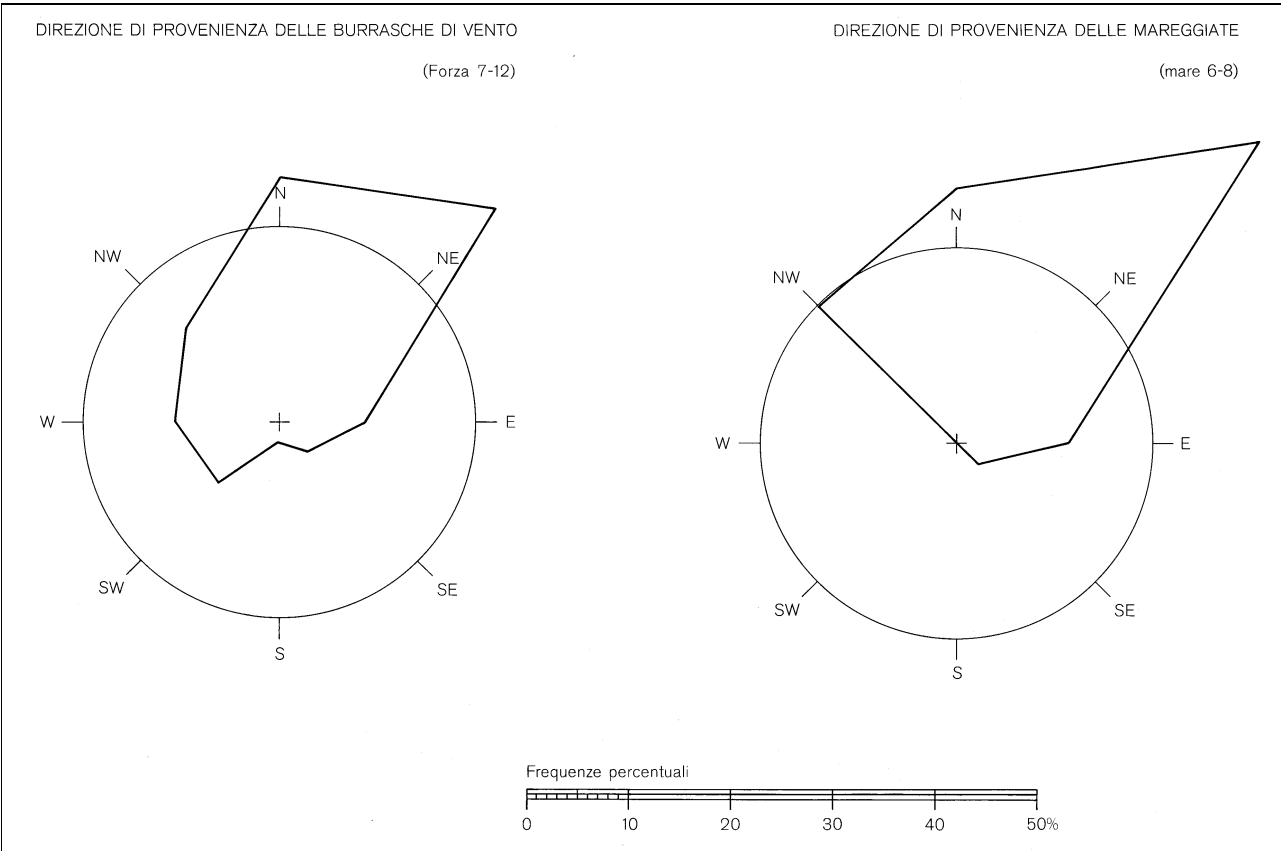


Figure 2.4.5 – Distribuzione direzionale delle frequenze percentuali medie annue delle burrasche da vento e delle mareggiate osservate dalla stazione di Monte Cappuccini in Ancona

2.5) Metodo S.M.B. di ricostruzione del moto ondoso dal vento

Sono state effettuate alcune ricostruzioni del moto ondoso in condizioni estreme applicando il metodo S.M.B. come proposto dallo Shore Protection Manual (1984). Come noto tale metodo richiede la conoscenza delle condizioni di vento (in intensità e durata) e della zona geografica di generazione (*fetch*).

La formulazione originaria, distinta nei tre casi principali (stato transitorio in acque profonde; stato stazionario in acque profonde; acque basse), è stata rivista da Hurdle & Stive (1989) per tenere conto di alcune incongruenze e riproposta in una veste generale, che elimina la scelta preventiva della condizione da assumere e che tende alle precedenti relazioni nei casi limite rispetto alla profondità e alla lunghezza del *fetch*. In questo studio si adotta tale formulazione.

Le grandezze da utilizzare per la applicazione del metodo sono relative al vento nella zona di generazione del moto ondoso:

- direzione di provenienza del vento [$^{\circ}$ N];
- $U(z)$ [m/s] = velocità media alla quota z della stazione di misura;
- $U_{10} = U(z)(10/z)^{1/7}$ [m/s] = velocità media alla quota convenzionale di 10 m s.l.m.;
- t [s] = durata dell'evento anemometrico;
- $U_A = 0.71(R_T U_{10})^{1.23}$ [m/s] = velocità del vento corretta (il coefficiente R_T tiene conto della differenza di temperatura aria-mare e viene solitamente assunto pari ad 1.1);
- $F = \sum_{i=1}^9 F_i / 9$ [m] = lunghezza del *fetch* efficace (vengono misurate nove lunghezze F_i di *fetch* geografico ogni 5° attorno alla direzione di provenienza del vento);
- d [m] = profondità del bacino.

Le espressioni assunte (SPM corretto) per la altezza significativa H_s e per il periodo di picco T_p sono rispettivamente:

$$\left(\frac{gH_s}{U_A^2} \right) = 0.25 \tanh \left[0.6 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{0.75} \right] \tanh^{0.5} \left[\frac{4.3 \cdot 10^{-5} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)}{\tanh^2 \left[0.6 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{0.75} \right]} \right]$$

$$\left(\frac{gT_p}{U_A}\right) = 8.3 \tanh \left[0.76 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{0.375} \right] \tanh^{1/3} \left[\frac{4.1 \cdot 10^{-5} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)}{\tanh^3 \left[0.76 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{0.375} \right]} \right]$$

La distinzione fra stato transitorio (durata limitante) e stato stazionario (*fetch* limitante) viene individuata da una durata limite t_{lim} in funzione del *fetch*, cioè all'aumentare del *fetch* occorre più tempo per raggiungere condizioni stazionarie:

$$\left(\frac{g t_{lim}}{U_A}\right) = 65.9 \left(\frac{gF}{U_A^2}\right)^{2/3}$$

Quindi si distinguono due condizioni:

- 1) $t > t_{lim} \Rightarrow$ *fetch* limitante (la crescita del moto ondoso è limitata dal campo di generazione);
- 2) $t < t_{lim} \Rightarrow$ durata limitante (la crescita del moto ondoso è limitata dalla durata dell'evento anemometrico).

Entrambe le situazioni vengono studiate con le formule SPM corretto, con la avvertenza di adottare, nel caso di durata limitante, un “*fetch* equivalente” F' dato da

$$\left(\frac{gF'}{U_A^2}\right) = \left[\left(\frac{g t}{U_A}\right) / 65.9 \right]^{3/2}$$

Nel presente studio l'applicazione del metodo è stata effettuata, per esempio, utilizzando i dati di vento della stazione ITAV di Falconara marittima, misurati strumentalmente, quindi attendibili, e disponibili in maniera completa per un esteso intervallo di tempo. Come sito costiero su cui applicare il metodo di ricostruzione è stato scelto un paraggio di mare limitrofo alla stazione di misura. Si è fatto riferimento al promontorio del porto dorico, in quanto baricentrale per l'intera regione (quindi ben rappresentativo dell'intero paraggio marino marchigiano), abbastanza aperto alla traversia del mare aperto ed anche perché in tale paraggio marino si dispone di misure ondose contemporanee ai dati di vento, quindi idonee per una verifica della validità e rispondenza del metodo.

Le distanze dei *fetches* geografici ed efficaci dal sito costiero anconitano scelto sono riportati sulla Figura 2.5.1 e tra l'altro quelli efficaci, considerati per i calcoli di applicazione del metodo S.M.B., non risultano differire in modo sensibile da quelli degli altri siti costieri marchigiani.

La verifica dei risultati ottenuti con l'applicazione di tale metodo S.M.B. corretto con le misure della boa ondometrica Wavec al largo della costa anconetana hanno evidenziato notevoli errori (anche fino al 100%) nella stima sia della altezza d'onda significativa che del periodo di picco.

Sulla scorta di questi risultati si è ritenuto opportuno abbandonare la ricostruzione degli ulteriori dati ondosi con tale metodo, considerando dunque la stazione di Falconara marittima (posta a circa 3 km dal mare) poco idonea per la determinazione del campo di vento in mare aperto.

Problemi analoghi, ed anzi anche maggiori, sussistono per la ricostruzione dello stato di mare con l'utilizzo dei dati anemometrici rilevati dalla stazione ITAV di Monte Cappuccini in Ancona, in quanto essa è posta oltretutto sulla cima di una rupe di oltre 100 m sul livello del mare. Ciò infatti fornisce risultati molto poco rispondenti alla realtà, come provato in precedenti studi.

Per quanto riguarda i dati ITAV della stazione di Grottammare essi hanno dato meno problemi di quota strumentale e di validità per il campo di vento in mare aperto, ma i problemi nascono in questo caso dalla limitatezza temporale del campione di misure rese disponibili (solo 10 anni). Inoltre, come anche nel caso della stazione di Monte Cappuccini in Ancona, non esistono misure del moto ondoso durante il periodo di funzionamento di tale stazione e risulta quindi impossibile poter effettuare una efficace verifica di validità del metodo di ricostruzione.

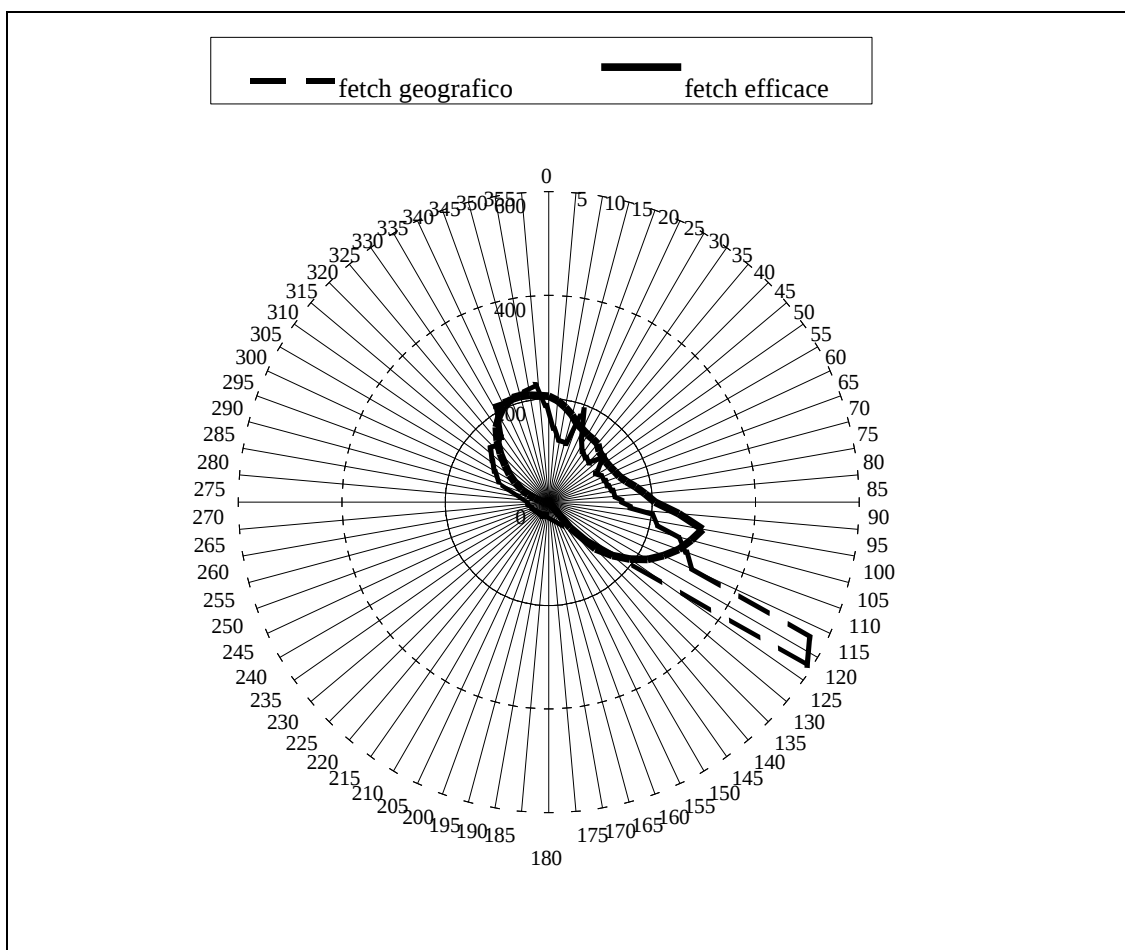


Figura 3.2.6 - Distribuzione direzionale delle lunghezze del fetch geografico e del fetch efficace (in km) del sito costiero anconitano, baricentrale per l'intera costa marchigiana

3) ANALISI DEI DATI ONDOSI PREESISTENTI A DISPOSIZIONE PER IL MEDIO ADRIATICO ED INDIVIDUAZIONE DEI RISPETTIVI REGIMI ONDOSI MEDI AL LARGO

3.1) Analisi ed elaborazione dei dati K.N.M.I.

L'Istituto Meteorologico Reale Olandese (*Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut*) raccoglie da numerosi anni le osservazioni delle navi in transito nei mari del mondo intero e li rende disponibili a richiesta ed a pagamento.

Si tratta di misure e stime di direzione e velocità del vento, periodo ed altezza dell'onda da vento, direzione, periodo ed altezza dell'onda di mare lungo (*swell*). Nel nostro caso si è fatto riferimento alle osservazioni relative al moto ondoso da vento, andando ad eliminare tutte le registrazioni definite dal KNMI come “grandezza variabile” o “grandezza indeterminata”, per quanto concerne la direzione del vento o l'altezza d'onda. Depurato in questo modo il campione dei dati si è proceduto alla analisi delle informazioni ondose ottenute.

Per quanto riguarda le informazioni delle caratteristiche ondose (altezza, periodo e direzione) riportate nei dati del KNMI si possono fare le seguenti considerazioni generali:

- secondo quanto riportato in letteratura le osservazioni visive dell'altezza d'onda sono discretamente affidabili per la definizione del regime medio, essendo in buon accordo con le misure disponibili;
- le osservazioni visive risultano di scarsa attendibilità per quanto concerne la valutazione del periodo d'onda;
- i dati KNMI non contengono valutazioni indipendenti della direzione dell'onda, che viene assunta uguale alla direzione del vento locale.

Per quanto riguarda il mare Adriatico i dati K.N.M.I. sono diffusi abbastanza uniformemente su tutto il bacino e coprono un lungo intervallo di tempo.

Ai fini del presente studio l'area di interesse per la ricerca delle osservazioni disponibili è stata individuata tra la foce del Po ed il promontorio del Gargano; più precisamente sono state richieste, all'Istituto olandese, le osservazioni relative all'area compresa tra 42°N e 45°N di latitudine e tra 12°E e 16°E di longitudine, ottenendo più di 28000 dati relativi agli anni dal 1961 al 1995. Tale serie completa di dati viene di seguito denominata “Adriatico centrale”. Una volta depurati i dati come detto sopra i dati utilizzabili si sono ridotti a 22450.

Se si osserva la distribuzione spaziale della serie completa di dati, riportata in Fig. 3.1.1, si nota una maggior concentrazione delle osservazioni verso il lato della costa croato-slava. Operando una divisione teorica dell'Adriatico secondo la direttrice NW-SE passante per i punti di coordinate (13°E; 45.2°N) e (15.8°E; 42.,8°N), si può individuare una zona di mare compresa tra la linea di mezzeraia e le coste italiane, entro cui risultano comprese circa 13000 osservazioni. Questo sottogruppo di dati del KNMI, così individuato, verrà nel seguito denominato "Settore italiano". Una volta eseguita anche per tale serie di dati le operazioni di depurazione suddette i dati utilizzabili di questa serie si sono ridotti a 10931.

Riguardo alla distribuzione temporale dei dati del K.N.M.I. si può dire che le osservazioni coprono un periodo di 35 anni, sufficientemente esteso per dare conto delle variabilità climatiche note, che si esplicano su periodi temporali di 15-20 anni. Osservando la successione negli anni dei dati, riportata in Fig. 3.1.2, si nota una certa diminuzione dei dati della serie completa a partire dalla fine degli anni '70. Tuttavia si può anche notare che la successione temporale delle osservazioni del "Settore italiano" risulta molto più omogenea rispetto a quella relativa all'"Adriatico centrale".

Con i dati K.N.M.I. si è ricostruito il regime, o clima, del moto ondoso al largo di Ancona. Esso è stato definito mediante la costruzione sia di tabelle di frequenza condizionata altezza d'onda - direzione di provenienza che delle rappresentazioni grafiche delle distribuzioni direzionali delle frequenze dei dati ondosi costruite sulla base delle rose dei venti.

Per la costruzione delle tabelle va detto che è stato determinato il regime ondoso medio del K.N.M.I. sia con tutti i dati dell'"Adriatico centrale", sia con i soli dati del "Settore italiano". I risultati ottenuti sono riportati rispettivamente nelle Tabelle 3.1.1 e 3.1.2.. Per la direzione di provenienza è stata eseguita la ripartizione in settori di 30°, mentre per l'altezza d'onda, a causa del tipo di dato fornito dal K.N.M.I., sono stati mantenuti i valori discreti con passo di 0.5 m. Esaminando le predette Tabelle, relativamente alle frequenze percentuali delle diverse altezze d'onda, si può notare anzitutto che il clima ondoso del "Settore Italiano", rispetto a quello dell'"Adriatico Centrale", presenta una diminuzione percentuale del 4,5% delle calme ($H \leq 0.5$ m) a favore delle onde con altezza maggiore. In generale, comunque, sia nell'uno che nell'altro caso, le onde con altezza minore o uguale ad 1 metro risultano circa l'80% dei casi.

Se si considera la distribuzione direzionale delle frequenze percentuali delle altezze d'onda dei dati K.N.M.I., riportata graficamente in Fig. 3.1.3, si nota che quelli del "Settore italiano" perdono, nei confronti della serie "Adriatico centrale", il picco da 60°N pur mantenendo ancora i picchi da 330°N e da 150°N.

Ulteriori osservazioni possono essere fatte riguardo agli eventi di tempesta, cioè a quegli episodi ondosi aventi altezze superiori per esempio ai 2 m. Osservando la distribuzione direzione

delle frequenze percentuali di questi casi, riportata nella Fig. 3.1.4, si nota come gli eventi compresi nei settori di traversia tra 0°N e 150°N , quindi associati ai venti di Bora-Tramontana, Greco, Levante e Scirocco, insieme raggruppano oltre il 70% di tutte le onde maggiori di 2 m. Inoltre, si può osservare che nel passare dagli eventi di tempesta dell'”Adriatico centrale” a quelli del “Settore italiano”, le onde da NE aumentano percentualmente, mentre diminuiscono le onde da Scirocco con una rotazione del picco da 150°N a 120°N . Si può anche notare come, per tali onde di tempesta, risultino di scarso numero gli eventi provenienti dal settore 330°N , essi tendono a diminuire nel passare dal regime ondoso medio generale a quello degli eventi più intensi.

I dati ondosi dell'altezza significativa del K.N.M.I. sono stati inoltre utilizzati per le elaborazioni delle serie tronche dei valori estremi. Per tale scopo i dati estremi, scelti come tutti gli eventi di mareggiata che hanno raggiunto almeno 2 m di altezza d'onda significativa, sono stati suddivisi in cinque sottosettori direzionali di provenienza (individuati come significativi all'interno della traversia della costa marchigiana). Nel paragrafo 4.2) sono riportate le leggi statistiche utilizzate per la regolarizzazione delle serie di valori estremi sopra ottenute.

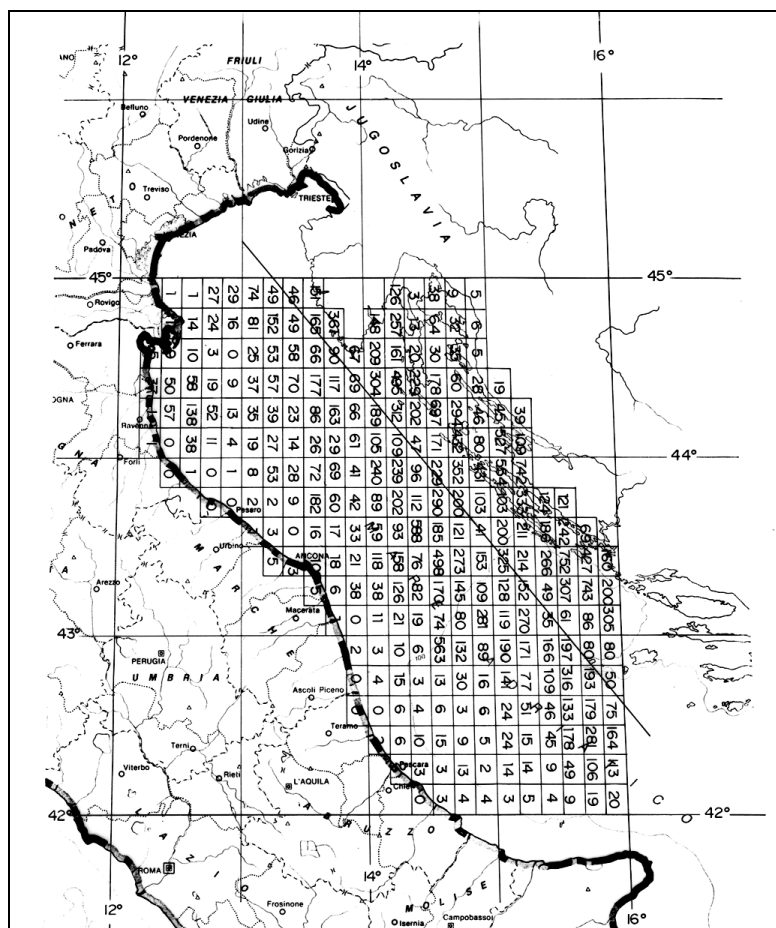


Figura 3.1.1 – Distribuzione spaziale delle 28000 osservazioni da navi in transito sull’Adriatico centrale dal 1961 al 1995 raccolte dal K.N.M.I. con la retta di delimitazione del “Settore italiano”

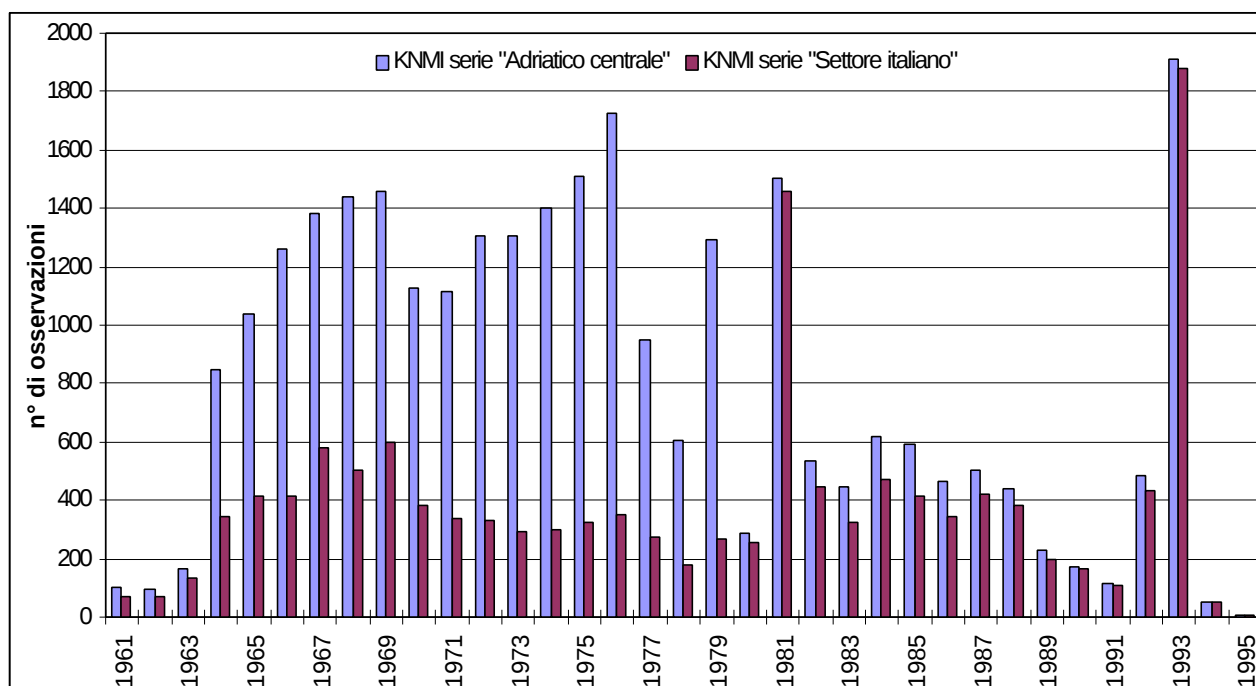


Figura 3.1.2 – Distribuzione temporale per anni delle osservazioni da navi in transito sull’Adriatico centrale dal 1961 al 1995 raccolte dal K.N.M.I. sia per l’intera serie “Adriatico centrale” che per quella ridotta denominata “Settore italiano”

Tabella 3.1.1 – Distribuzione della frequenza percentuale per classi di altezza d’onda e settori di direzione di provenienza delle 22450 osservazioni ondose raccolte dal K.N.M.I. nell’”Adriatico centrale” dal 1961 al 1995

	Altezza d’onda significativa Hs (metri)											
Direzione (gradi Nord)	≤ 0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	> 5,0	TOTALE
345 - 15	4,70	2,09	0,95	0,42	0,22	0,10	0,03	0,03	0,00	0,01	0,00	8,56
15 - 45	3,89	1,77	0,95	0,49	0,28	0,22	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	7,69
45 - 75	6,77	3,14	1,62	0,57	0,17	0,10	0,02	0,03	0,00	0,01	0,01	12,44
75 - 105	4,04	1,51	0,51	0,19	0,07	0,05	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	6,40
105 - 135	3,84	1,90	0,76	0,45	0,17	0,12	0,05	0,08	0,01	0,00	0,02	7,40
135 - 165	9,36	4,52	1,82	0,72	0,35	0,19	0,03	0,03	0,01	0,03	0,03	17,08
165 - 195	3,80	1,36	0,52	0,15	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,90
195 - 225	1,47	0,68	0,20	0,10	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	2,53
225 - 255	2,20	0,69	0,28	0,08	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,31
255 - 285	3,21	0,77	0,24	0,10	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,38
285 - 315	4,13	1,85	0,67	0,23	0,08	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,01
315 - 345	11,43	3,98	1,19	0,41	0,15	0,08	0,01	0,01	0,00	0,01	0,03	17,29
TOTALE	58,84	24,26	9,72	3,91	1,62	0,98	0,18	0,22	0,04	0,10	0,13	100,00

Tabella 3.1.2 – Distribuzione della frequenza percentuale per classi di altezza d’onda e settori di direzione di provenienza delle 10931 osservazioni ondose raccolte dal K.N.M.I. nell’Adriatico centrale “Settore italiano” dal 1961 al 1995

	Altezza d’onda significativa Hs (metri)											
Direzione (gradi Nord)	≤ 0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	> 5,0	TOTALE
345 - 15	4,76	2,32	1,07	0,61	0,34	0,17	0,05	0,05	0,00	0,02	0,01	9,40
15 - 45	3,82	2,08	1,28	0,66	0,48	0,31	0,05	0,05	0,02	0,01	0,01	8,76
45 - 75	3,74	1,78	1,05	0,46	0,19	0,09	0,03	0,05	0,00	0,03	0,01	7,43
75 - 105	3,51	1,71	0,58	0,33	0,10	0,07	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	6,35
105 - 135	5,02	2,34	0,93	0,60	0,25	0,19	0,10	0,13	0,03	0,01	0,04	9,64
135 - 165	7,45	3,79	1,28	0,59	0,29	0,16	0,03	0,05	0,01	0,03	0,04	13,70
165 - 195	3,62	1,55	0,51	0,17	0,05	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	5,94
195 - 225	1,86	0,89	0,33	0,13	0,04	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	3,31
225 - 255	2,29	0,75	0,24	0,10	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,45
255 - 285	3,47	0,91	0,38	0,14	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	4,99
285 - 315	5,42	2,89	1,03	0,44	0,14	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	9,99
315 - 345	9,43	4,77	1,71	0,61	0,30	0,12	0,03	0,01	0,00	0,02	0,04	17,03
TOTALE	54,39	25,78	10,39	4,85	2,27	1,28	0,32	0,33	0,06	0,16	0,17	100,00

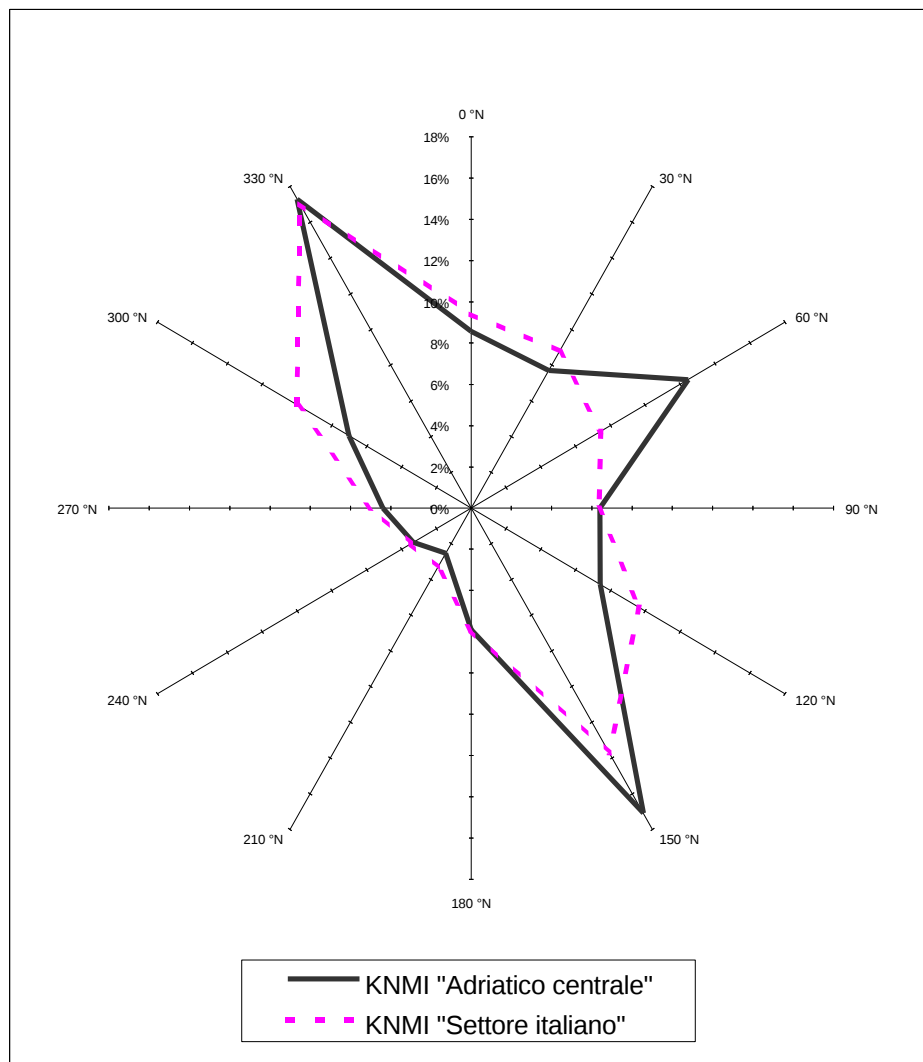


Figura 3.1.3 – Distribuzione direzionale delle frequenze percentuali di tutti i dati ondosi del K.N.M.I. “Adriatico centrale” e del K.N.M.I. “Settore italiano” dal 1961 al 1995

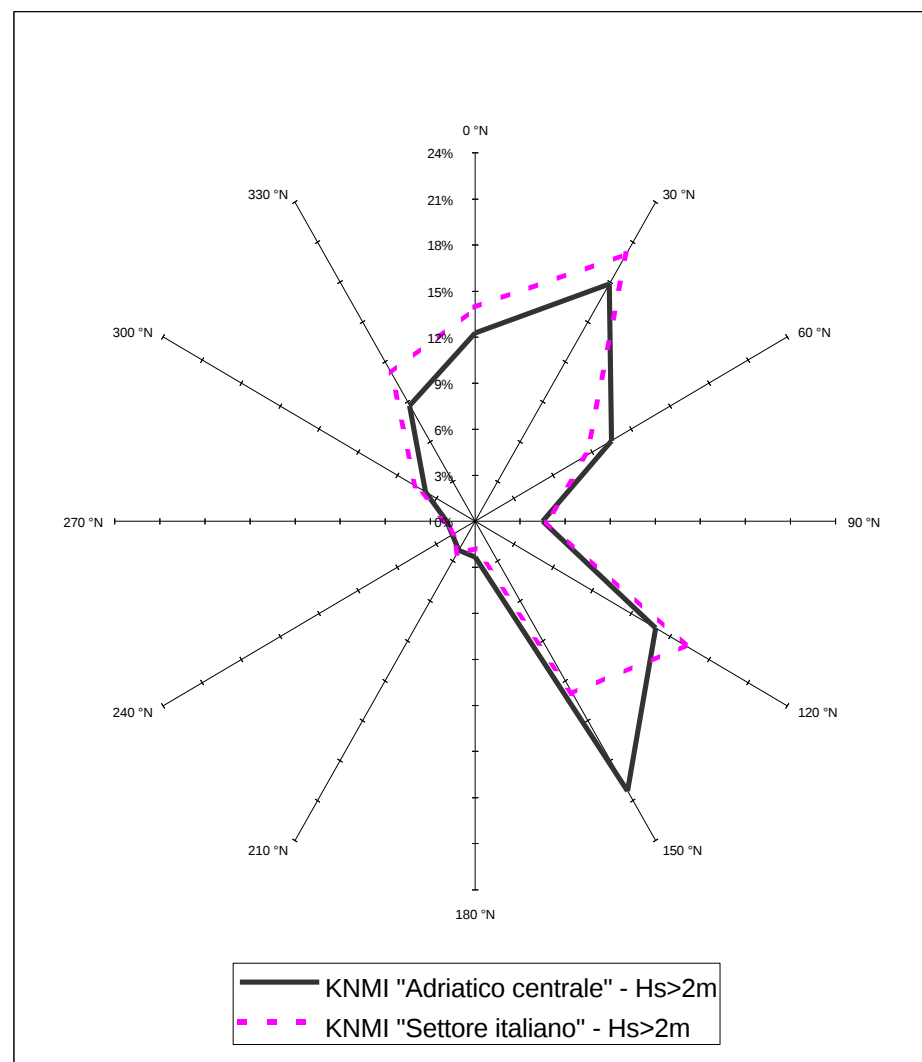


Figura 3.1.4 – Distribuzione direzionale delle frequenze percentuali dei dati ondosi con altezza significativa superiore ai 2 m del K.N.M.I. “Adriatico centrale” e del K.N.M.I. “Settore italiano” dal 1961 al 1995

3.2) Misure di moto ondoso delle boe della Regione Marche al largo di Ancona

Una importante fonte di dati di moto ondoso rilevati, sia al largo che in acque sottocosta, lungo un tratto di mare baricentrale della costa marchigiana, e quindi oltremodo significativo per integrare la conoscenza delle caratteristiche del moto ondoso agente sull'intero litorale regionale, è costituita dalla campagna di misure oceanografiche effettuate per mezzo di boe ondametriche gestite dall'Istituto di Idraulica dell'Università di Ancona fra il 1989 ed il 1990 per conto della Regione Marche nell'ambito dello studio del tratto di costa marchigiana, a NO del capoluogo, compreso tra la foce del fiume Esino e quella del fiume Cesano.

Le boe ondametriche utilizzate per le misure sono state due di cui una direzionale del tipo *Wavec* ed una non direzionale del tipo *Waverider*, entrambe prodotte e fornite dalla ditta *Datawell* (Haarlem, Olanda).

L'ondametro direzionale *Wavec* è stato posto su una profondità di 51 metri, in posizione di coordinate geografiche 43°48'N-13°51'15"E, ad una distanza di circa 10.5 miglia marine in direzione 5°N al largo del porto di Ancona. L'ondametro non direzionale *Waverider* è stato invece posto su una profondità di 13.5 metri, in posizione di coordinate geografiche 43°41'40"N-13°23'E, 3 miglia marine al largo della spiaggia di Marina di Montemarciano ad una distanza di 6.5 miglia marine in direzione 311°N dal porto di Ancona. Tali posizioni sono illustrate nella Figura 3.2.1.

Le apparecchiature di misura hanno fornito una notevole mole di dati statistici (di altezza, periodo e direzione delle onde, mediati su più serie di 200 secondi di misure) e spettrali (ugualmente relativi a più serie di 200 secondi) dello stato del mare su base trioraria (cioè un dato completo sulle caratteristiche dello stato del mare ogni tre ore) ed in continuo (cioè un dato dello stato del mare ogni 30 minuti per la boa *Wavec* ed ogni 20 minuti per la boa *Waverider*). La soglia per la registrazione in continuo dei dati degli ondametri era stata posta inizialmente ad un metro di altezza d'onda significativa, valore poi spostato ad 1.5 metri dopo le prime misurazioni. Per altezze inferiori la registrazione non è in continuo ma trioraria, cioè una misura registrata ogni 3 ore.

Tale campagna di misure ha avuto una durata temporale globale limitata a soli 14 mesi, dall'ottobre 1989 al novembre 1990. La boa *Wavec* ha fornito misure dalla data del varo dell'11 ottobre 1989 fino al 23 novembre 1990, mentre la boa *Waverider* ha fornito dati dalla stessa data del varo fino al 22 agosto 1990. Le registrazioni hanno subito qualche periodo di interruzione dovuto a malfunzionamento delle apparecchiature del sistema di registrazione o al disancoraggio delle boe dovuto all'attività dei pescherecci. Gli intervalli più lunghi senza registrazioni sono stati per la boa *Wavec* dal 10 dicembre 1989 al 21 febbraio 1990 e dal 9 aprile all'8 maggio 1990, per la *Waverider*

dal 28 dicembre 1989 al 15 febbraio 1990, durante i quali però non sono mancate le stampe su carta di alcuni dati statistici.

In definitiva dalla boa *Wavec*, posta al largo, sono stati registrati 2242 dati statistici di moto ondoso, di cui 1571 triorari, (oltre ad un altro numero di casi di cui si dispone solo della stampa su carta), 2369 spettri di energia del moto ondoso ritenuti validi, 18 raccolte di dati “grezzi” (ognuna relativa ad un intervallo di tempo di mezzora) ritenuti validi e circa altre 930 raccolte di dati energetici di importanza secondaria.

Per quanto riguarda la boa *Waverider*, posta sottocosta, sono stati registrati 3164 dati statistici di moto ondoso, di cui 1602 triorari, (in più ad un altro numero di casi di cui si dispone solo la stampa su carta), 3263 spettri di energia del moto ondoso ritenuti validi e una raccolta di dati “grezzi” relativa ad un intervallo di tempo di venti minuti.

Sulla base delle condizioni meteorologiche incontrate si può ritenere che la campagna di misure in questione è stata effettuata in un periodo abbastanza calmo dal punto di vista ondametrico, con poche mareggiate di una certa intensità e per di più provenienti dai soli settori da N e NE. Soprattutto per quel che riguarda quella invernale si è trattato di una stagione particolarmente anomala con mare calmo e condizioni di nebbia persistente per lunghissimi periodi di tempo. È da notare tra l'altro che l'unico caso di mare con altezza d'onda significativa superiore a 2 metri misurato durante l'intero inverno '89-'90 è stato un evento del febbraio 1990 proveniente da terra (che è risultato poi come il secondo caso per intensità in assoluto per l'intera campagna), quindi poco significativo per le azioni ondose sul litorale marchigiano, e che l'evento di mare più intenso rilevato in assoluto dalle boe nell'intera campagna di rilevamento è stato misurato addirittura nel mese di luglio (una violenta ma breve mareggiata da Bora-Tramontana, cresciuta dalle ore 1 del giorno 11 fino alle 4 quando ha raggiunto il picco di 4.504 m di altezza significativa, calata sotto i 2 m tra le 9.30 e le 12.30 della mattinata stessa, mantenutasi sopra il 1.5 m di altezza fino alle 19.30 del giorno e sopra il metro fino alle ore 12 del giorno successivo)! Al contrario durante la stagione estiva il mare è stato mediamente meno calmo al confronto con le estati degli altri anni.

Dall'esame dell'insieme dei dati si ricava anche che nell'intero periodo di funzionamento delle boe sono state rilevate 63 eventi di mareggiate, di diversa durata, in cui le onde hanno raggiunto almeno un metro di altezza significativa (33 di essi hanno raggiunto 1.5 metri di altezza d'onda, 13 hanno raggiunto i 2 metri, 5 hanno raggiunto i 2.5 metri, 2 hanno raggiunto i 3 metri e solo il caso più intenso ha superato i 4.5 metri).

Nella Tabella 3.2.1 è raccolta la distribuzione della frequenza percentuale dei 1571 dati ondosi triorari registrati dalla boa *Wavec* al largo di Ancona per classi di altezza significativa e di direzione di picco di provenienza. Analogamente gli stessi dati della boa *Wavec* sono raccolti se-

condo la distribuzione della frequenza percentuale per classi di altezza d'onda significativa e di periodo medio $T(0,2)$ riportata nella Tabella 3.2.2. Ovviamente si possono raccogliere i dati secondo i legami dell'altezza d'onda significativa con altri tipi di direzioni di provenienza e periodi ondosi.

Per quel che riguarda i dati della boa *Waverider* è riportata nella Tabella 3.2.3 la distribuzione della frequenza percentuale dei 1602 dati ondosi triorari per classi di altezza significativa e di periodo di picco, potendola, anche in questo caso, ricostruire con periodi ondosi di tipo diverso.

Nella Figura 3.2.2 viene riportato il grafico dell'andamento cronologico dell'altezza significativa d'onda misurata durante l'intero periodo di rilevazione dalle due boe *Wavec* e *Waverider*.

Nella Fig. 3.2.3 si presenta il grafico della distribuzione direzionale della frequenza del moto ondoso misurato dalla boa *Wavec* al largo di Ancona, secondo il dato direzionale di picco.

Per confronto nella Fig. 3.2.4 si riporta il grafico della distribuzione direzionale della frequenza del moto ondoso misurato dalla boa *Wavec*, secondo il dato direzionale di picco, sia per tutti i dati triorari che per quei soli con altezza significativa superiore ad un metro. Si notano soprattutto una maggior prevalenza dei dati da 30°N e da 60°N a scapito invece di quelli provenienti da 150°N , da 330°N e la quasi totale scomparsa di casi da O ed OSO riferibili solo al suddetto evento da terra verificatosi verso la fine del febbraio del 1990.

Per quanto riguarda i maggiori eventi ondosi di mareggiata rilevati dalle due boe, nella Tabella 3.2.4 è riportato l'elenco dei 32 eventi in cui l'altezza d'onda significativa ha raggiunto 1.5 metri, con l'indicazione dell'ora di inizio evento (considerato a partire da quando l'altezza d'onda significativa per la boa *Wavec* supera il valore di un metro), la durata della mareggiata (in cui l'altezza d'onda significativa si mantiene sopra ad un metro), il valore massimo dell'altezza d'onda significativa raggiunto da una delle due boe ed il settore direzionale di provenienza dell'evento ondoso al culmine della sua intensità, riportando tra parentesi altri settori direzionali in cui ha eventualmente fluttuato la mareggiata.

I dati rilevati dalla boa ondometrica *Wavec* sono stati inoltre utilizzati per ricavare la relazione H_s-T_s al largo per diversi sottosettori direzionali della traversia del litorale marchigiano ritenuti significativi. I risultati sono stati confrontati sia con analoghe relazioni sperimentali ricavate per l'Adriatico da altre ricerche (tali elaborazioni sono esposte nel paragrafo 4.1).

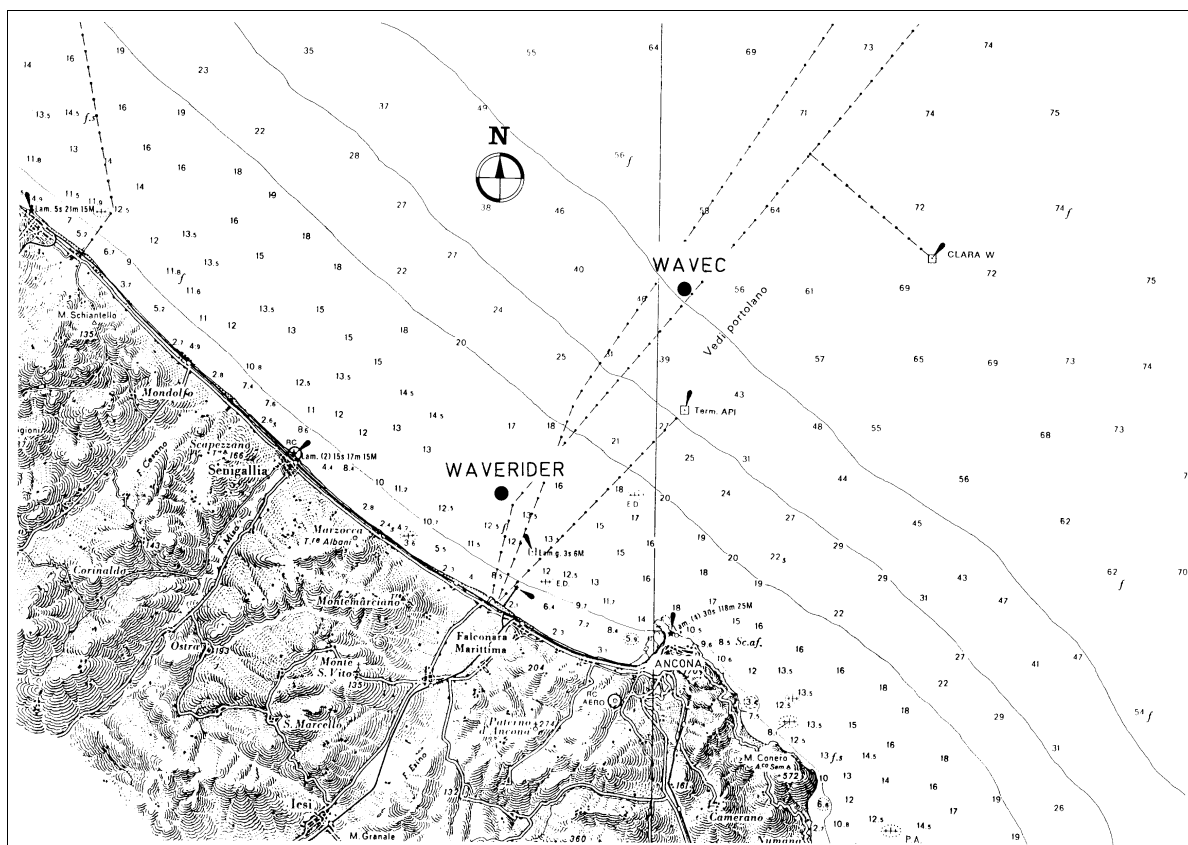


Figura 3.2.1 – Posizione dei siti di ancoraggio e rilevamento dati delle boe ondamiche Wavec e Waverider al largo di Ancona fra il 1989 ed il 1990

Tabella 3.2.1 – Distribuzione della frequenza percentuale per classi di altezza d'onda e settori di direzione di picco di provenienza dei 1571 dati ondosi trionari registrati dalla boa Wavec al largo di Ancona dal 12 ottobre 1989 al 23 novembre 1990

Settori direzionali di provenienza delle onde	Intervalli di altezza d'onda significativa (in metri)											TOTALE
	0 ÷ 0,5	0,5 ÷ 1,0	1,0 ÷ 1,5	1,5 ÷ 2,0	2,0 ÷ 2,5	2,5 ÷ 3,0	3,0 ÷ 3,5	3,5 ÷ 4,0	4,0 ÷ 4,5	4,5 ÷ 5,0	> 5,0	
345°N ÷ 15°N	5,54	1,91	1,02	0,13	0,06	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	8,72
15°N ÷ 45°N	5,22	5,09	2,67	1,65	0,25	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	14,96
45°N ÷ 75°N	1,65	1,46	0,70	0,76	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,71
75°N ÷ 105°N	3,12	2,04	0,83	0,32	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,43
105°N ÷ 135°N	12,22	9,23	2,86	0,83	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,40
135°N ÷ 165°N	6,56	2,36	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,04
165°N ÷ 195°N	0,57	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64
195°N ÷ 225°N	0,64	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27
225°N ÷ 255°N	1,78	0,95	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,80
255°N ÷ 285°N	2,61	0,38	0,19	0,00	0,06	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,37
285°N ÷ 315°N	4,07	4,07	2,10	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,44
315°N ÷ 345°N	7,19	4,01	0,95	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,22
TOTALE	51,18	32,21	11,52	3,95	0,89	0,13	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00

Tabella 3.2.2 – Distribuzione della frequenza percentuale per classi di altezza d'onda e di periodo medio T(0,2) dei 1571 dati ondosi trionari registrati dalla boa Wavec al largo di Ancona dal 12 ottobre 1989 al 23 novembre 1990

Intervalli di periodo d'onda (in secondi)	Intervalli di altezza d'onda significativa (in metri)											TOTALE
	0 ÷ 0,5	0,5 ÷ 1,0	1,0 ÷ 1,5	1,5 ÷ 2,0	2,0 ÷ 2,5	2,5 ÷ 3,0	3,0 ÷ 3,5	3,5 ÷ 4,0	4,0 ÷ 4,5	4,5 ÷ 5,0	> 5,0	
< 2,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,0 ÷ 2,5	8,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,91
2,5 ÷ 3,0	27,37	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,47
3,0 ÷ 3,5	11,58	15,09	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,93
3,5 ÷ 4,0	2,04	10,57	4,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00
4,0 ÷ 4,5	0,76	3,56	3,37	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,27
4,5 ÷ 5,0	0,32	0,64	2,23	1,91	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,41
5,0 ÷ 5,5	0,19	0,19	1,15	1,02	0,25	0,13	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	2,99
5,5 ÷ 6,0	0,00	0,06	0,13	0,38	0,19	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83
6,0 ÷ 6,5	0,00	0,00	0,00	0,06	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19
6,5 ÷ 7,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,0 ÷ 7,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,5 ÷ 8,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,0 ÷ 8,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,5 ÷ 9,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,0 ÷ 9,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,5 ÷ 10,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
>10,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTALE	51,18	32,21	11,52	3,95	0,89	0,13	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00

Tabella 3.2.3 – Distribuzione della frequenza percentuale per classi di altezza d'onda e di periodo medio T(0,2) dei 1602 dati ondosi trionari registrati dalla boa Waverider al largo di Ancona dal 12 ottobre 1989 al 25 agosto 1990

Intervalli di periodo d'onda (in secondi)	Intervalli di altezza d'onda significativa (in metri)											TOTALE
	0 ÷ 0,5	0,5 ÷ 1,0	1,0 ÷ 1,5	1,5 ÷ 2,0	2,0 ÷ 2,5	2,5 ÷ 3,0	3,0 ÷ 3,5	3,5 ÷ 4,0	4,0 ÷ 4,5	4,5 ÷ 5,0	> 5,0	
< 2,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,0 ÷ 2,5	5,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,87
2,5 ÷ 3,0	22,53	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,22
3,0 ÷ 3,5	18,79	6,99	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,84
3,5 ÷ 4,0	10,61	7,93	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,10
4,0 ÷ 4,5	6,30	3,75	1,69	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,86
4,5 ÷ 5,0	2,56	2,12	1,19	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,99
5,0 ÷ 5,5	1,37	0,81	0,50	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,87
5,5 ÷ 6,0	0,81	0,06	0,31	0,12	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,37
6,0 ÷ 6,5	1,06	0,00	0,12	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25
6,5 ÷ 7,0	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50
7,0 ÷ 7,5	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37
7,5 ÷ 8,0	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56
8,0 ÷ 8,5	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19
8,5 ÷ 9,0	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19
9,0 ÷ 9,5	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
9,5 ÷ 10,0	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19
>10,0	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50
TOTALE	72,53	22,35	4,43	0,56	0,06	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00

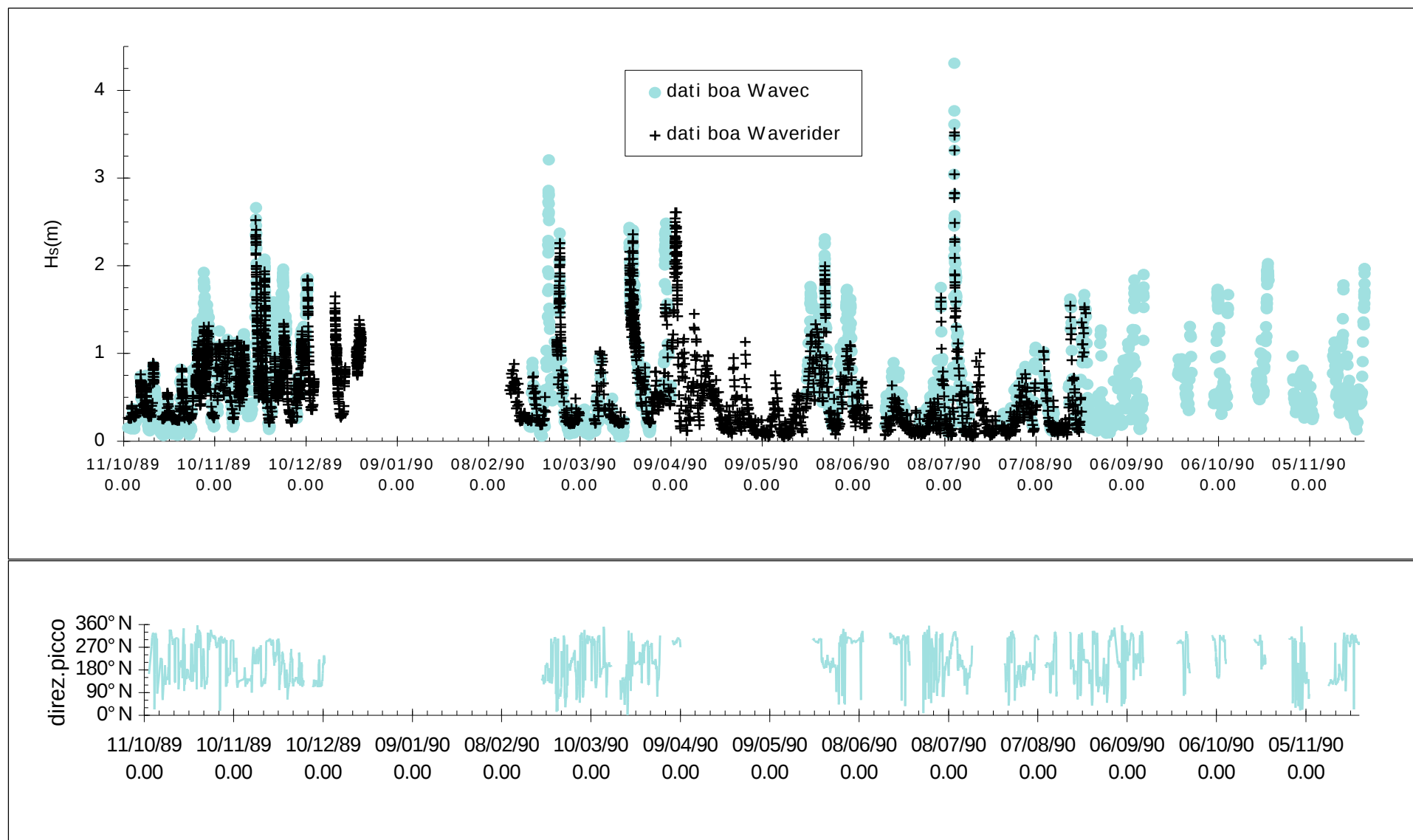


Figura 3.2.2 – Andamento cronologico dell'altezza d'onda significativa e della direzione di picco, in questo caso indicata nel verso della propagazione ondosa, rilevate dalle boe Wavec (direzionale) e Waverider al largo di Ancona fra l'ottobre 1989 ed il novembre 1990

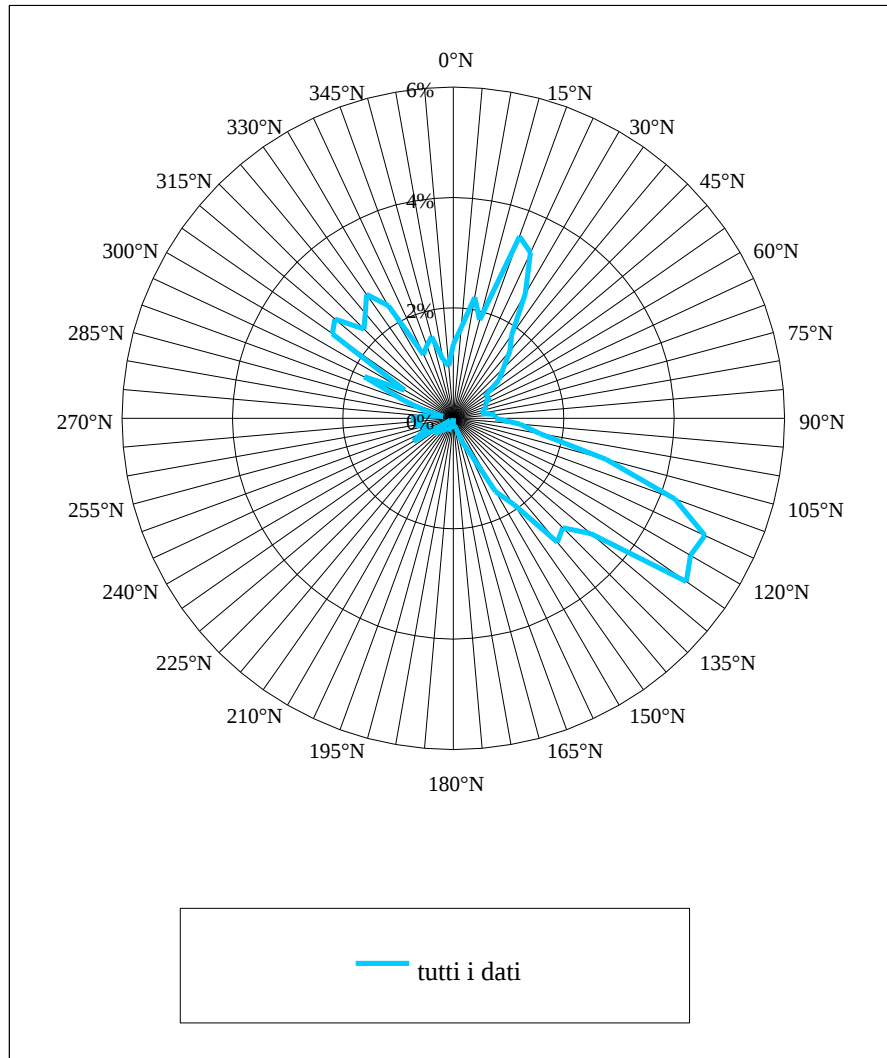


Figura 3.2.3 – Distribuzione direzionale (direzione di picco di provenienza) delle frequenze percentuali dei 1571 dati ondosi triorari registrati dalla boa Wavec al largo di Ancona dal 12 ottobre 1989 al 23 novembre 1990

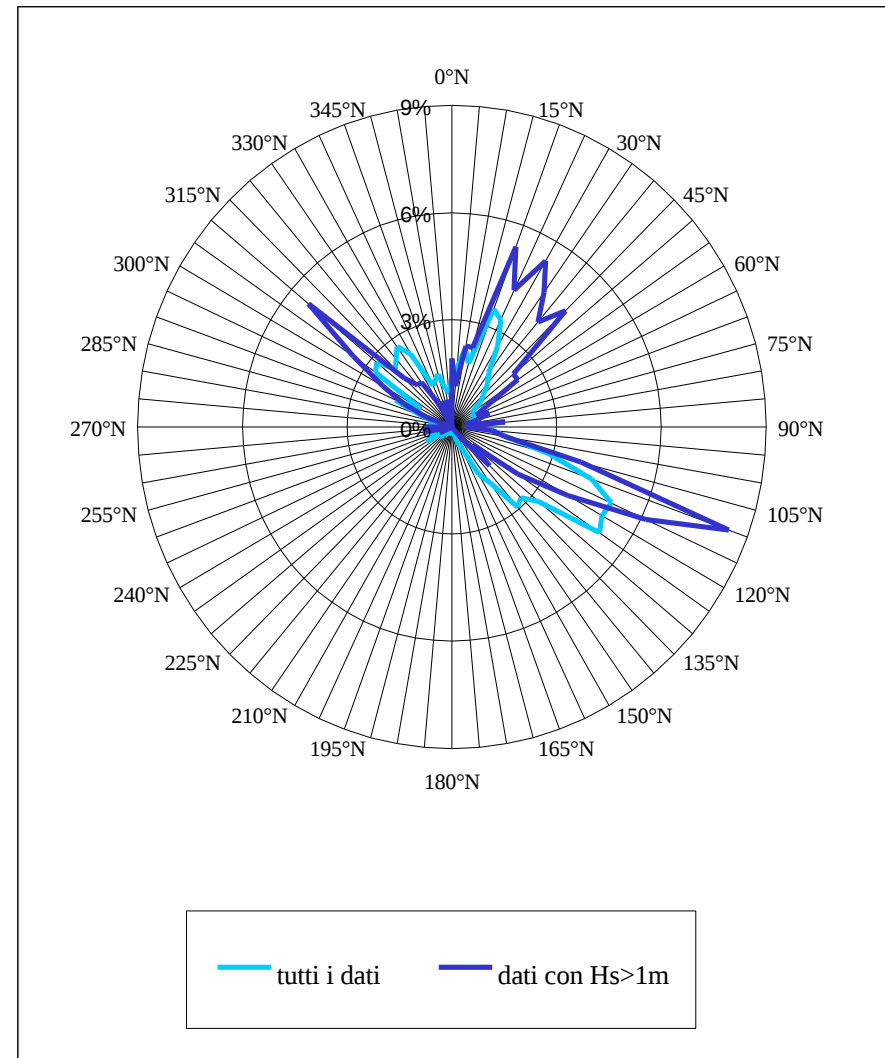


Figura 3.2.4 – Distribuzione direzionale (direzione di picco di provenienza) delle frequenze percentuali dei 1571 dati ondosi triorari e di quei soli con $H_s > 1\text{m}$ registrati dalla boa Wavec al largo di Ancona dal 12 ottobre 1989 al 23 novembre 1990

Tabella 3.2.4 – Caratteristiche principali degli eventi ondosi (mareggiate con massima $H_s^{31.5m}$) rilevati dalle boe Wavec e Waverider al largo di Ancona dal 12 ottobre 1989 al 25 agosto 1990

Inizio mareggiata	Durata mareggiata (ore)	Massima H_s raggiunta (m)	Settore direzionale di provenienza
19.00 del 5 novembre 1989	oltre 57 (registr. incompleta)	oltre 2,00	ESE (SE-NW)
8.00 del 23 novembre 1989	oltre 22 (registr. incompleta)	almeno 2,66	NE
1.30 del 25 novembre 1989	14,5	1,68	ESE (NW)
2.00 del 26 novembre 1989	17	2,07	ENE (NE)
1.00 del 29 novembre 1989	oltre 19,5 (registr.incompleta)	almeno 1,59	NE (NW)
15.00 del 1 dicembre 1989	oltre 48 (registr.incompleta)	almeno 1,96	WNW (NE)
7.30 del 8 dicembre 1989	oltre 61,5 (registr.incompleta)	almeno 1,86	NNE (WNW)
11.00 del 19 dicembre 1989	oltre 16 (registr.incompleta)	almeno 1,57	non disponibile (vento da S)
non disponibile (gen.-feb.1990)	non disponibile	1,60	non disponibile
2.30 del 27 febbraio 1990	30	3,21	W
2.00 del 3 marzo 1990	17	2,37	NNE (NE)
7.30 del 26 marzo 1990	oltre 75 (registr.incompleta)	almeno 2,43	NE (NW-E)
21.30 del 6 aprile 1990	33,5	2,48	ESE
3.00 del 9 aprile 1990	51	2,61	non disponibile (vento da N)
4.30 del 24 maggio 1990	37,5	1,76	ESE
9.00 del 26 maggio 1990	30,5	1,52	NNE
9.00 del 29 maggio 1990	18	2,31	NNE
18.00 del 4 giugno 1990	63	1,73	ESE
17.30 del 6 luglio 1990	5,5	1,75	N
0.30 del 11 luglio 1990	37	4,50	N (NE)
4.30 del 18 agosto 1990	13,5	1,62	NNE
0.00 del 22 agosto 1990	oltre 16,5 (registr.incompleta)	almeno 1,67	NE
16.30 del 7 settembre 1990	21	1,84	NNE (SE)
6.00 del 11 settembre 1990	25,5	1,90	NE
7.30 del 5 ottobre 1990	25	1,73	E (ESE-NE-NW)
23.00 del 8 ottobre 1990	20,5	1,98	NNE
22.00 del 16 ottobre 1990	30	1,50	ESE
3.30 del 21 ottobre 1990	38	2,02	NNE (NE)
4.30 del 26 ottobre 1990	40,5	1,57	WNW (N)
13.00 del 6 novembre 1990	oltre 22 (registr.incompleta)	almeno 2,12	NNE
2.00 del 15 novembre 1990	oltre 50,5 (registr.incompleta)	almeno 1,96	NNE (NW)
11.00 del 22 novembre 1990	27	1,96	ESE
10.00 del 23 novembre 1990	27	2,96	ESE

3.3) Misure di moto ondoso della Rete ondametrical nazionale (R.O.N.) al largo di Pescara

Dati strumentali affidabili e completi del moto ondoso nelle acque profonde dei mari costieri italiani sono rilevati, sistematicamente a partire dalla metà del 1989, dalle boe ondametrical direzionali della Rete Ondametrical Nazionale gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale del Dipartimento dei Servizi Tecnici Nazionali della Presidenza del Consiglio dei Ministri.

Il sistema di rilevamento del moto ondoso della Rete Ondametrical Nazionale è configurato in otto stazioni di misura (solo recentemente, dallo scorso mese di marzo 1999, estese a dieci con l'istallazione di due nuovi siti ondametrical tra cui proprio quello di Ancona, unico nell'Adriatico centro-settentrionale, l'altro è quello di Cetraro) su fondali di circa 100 metri, con le relative stazioni riceventi a terra, distribuite per coprire buona parte dei mari costieri italiani.

La Rete Ondametrical Nazionale è operativa dal 1 luglio 1989 e nei primi 6 anni e mezzo ha avuto un rendimento globale di dati validi rilevati superiore al 90%, che rappresenta un ottimo risultato. Ciò permette di disporre di una notevole quantità di dati affidabili ed acquisiti durante un già discreto numero di anni, anche se ancora non proprio sufficienti per una statistica pluriennale piuttosto estesa. I periodi di interruzione delle registrazioni sono dovuti a malfunzionamento delle apparecchiature del sistema di registrazione o al disancoraggio delle boe dovuto ad attività di pesca con riporti a terra degli ondametrical.

In particolare nel mare Adriatico sono localizzate le stazioni al largo di Pescara-Ortona e Monopoli (oltre appunto al nuovo sito al largo di Ancona).

Per il presente studio sono stati acquisiti i dati dalla boa al largo di Pescara-Ortona dall'inizio delle registrazioni fino alla fine del 1995. Le condizioni meteomarine del paraggio di Pescara sono sicuramente diverse da quelle interessanti la costa marchigiana, in particolar modo quella settentrionale, (per differenti lunghezza dei *fetches*, vento diverso dovuto ad un campo barico spostato, ecc...) anche se la ciclogenesi ed i processi di formazione delle onde spesso possono considerarsi appartenenti agli stessi fenomeni e quindi i dati di onde ad una stessa popolazione.

La strumentazione di misura si basa su boe ondametrical direzionali del tipo *Wavec*, della ditta *Datawell* (Haarlem, Olanda). Tale strumento è lo stesso utilizzato nelle indagini ondametrical effettuate al largo di Ancona dalla Regione Marche, descritto in precedenza, alle cui caratteristiche quindi si rimanda per una sommaria descrizione del suo funzionamento.

In particolare la boa ondametrical di Pescara-Ortona si trova ancorata a circa 6 miglia marine dalla costa a NE del porto di Ortona nella posizione di coordinate geografiche latitudine 42° 24.4' N, longitudine 14° 32.2' e su un fondale di circa 70 metri (vedi Figura 3.3.1).

Riguardo alle misure di tale boa si dispone delle loro registrazioni rilevate nel periodo a partire dal luglio 1989 fino al dicembre 1995. Si tratta dei dati statistici (di altezza d'onda significativa, periodo di picco, periodo medio e direzione media delle onde, rilevati su 9 serie di 200 secondi di misure) dello stato del mare su base trioraria (cioè un dato completo sulle caratteristiche dello stato del mare ogni tre ore) e di ricostruzioni spettrali del moto ondoso (ugualmente relativi alle medie su 9 serie di 200 secondi). Precisamente si hanno 17729 dati statistici su 19000 a disposizione nell'intero periodo (percentuale di funzionamento del 93.3%) e 1375 ricostruzioni spettrali, di cui 656 relativamente alle misure triorarie con altezza significativa superiore ai 2 metri e 719 relativamente alle misure in continuo (cioè dati consecutivi dello stato del mare ogni 30 minuti) con altezza significativa superiore ai 3 metri.

Dall'esame dell'insieme dei dati statistici triorari si ricava che nell'intero periodo di funzionamento della boa sono stati rilevati ben 564 eventi di mareggiata, di diversa durata, in cui le onde hanno raggiunto almeno un metro di altezza significativa (125 di essi hanno raggiunto i 2 m, 43 hanno raggiunto i 3 m, 13 hanno raggiunto i 4 m e i tre casi più intensi hanno superato i 5 m).

Nella Figura 3.3.3 viene riportato il grafico dell'andamento cronologico dell'altezza d'onda significativa misurata dalla boa di Pescara nelle sei annate e mezzo di dati a disposizione.

Il grafico della Figura 3.3.2 riporta invece l'andamento cronologico del valore dell'altezza d'onda significativa media mensile per tutto il periodo sopra indicato. Ciò per ottenere più facilmente delle indicazioni sull'intensità media ondosa nelle varie stagioni dei diversi anni.

Si nota che i mesi con altezza media più alta sono quelli invernali da novembre a febbraio, che generalmente il valore medio della altezza significativa si mantiene sopra i 60 cm da ottobre fino ad aprile-maggio. Mentre nei rimanenti mesi estivi tale valore non viene generalmente raggiunto e quasi sempre le medie mensili si mantengono sotto i 40 cm. Inoltre si può notare che in ogni invernata viene raggiunta da almeno due o tre mesi la soglia media dei 90 cm.

A questo andamento generale si nota invece l'eccezione proprio dell'annata 1989-90, in corrispondenza cioè del periodo di funzionamento delle boe ondametriche al largo di Ancona di cui al precedente paragrafo. Nella stagione invernale '89-'90, l'unica coperta interamente dal periodo di funzionamento di tali boe, l'altezza d'onda media mensile ha raggiunto solo una volta (dic.'89), e veramente appena per poco, il valore di 80 cm, già basso rispetto ai valori raggiunti negli inverni degli altri anni. Inoltre l'estate del 1990 (sempre l'unica coperta dalle misure anconetane) non è risultata così calma come negli altri anni, infatti la media mensile non è per esempio mai scesa sotto i 40 cm (a cui vi si è avvicinata solo nel mese di mag.'90) al contrario delle altre estati in cui almeno una volta essa è sempre scesa addirittura sotto i 30 cm.. Ciò conferma quanto già osservato precedentemente nel paragrafo 3.2), cioè che il periodo invernale delle misure anconitane è risultato

particolarmente calmo che l'intera annata è stata abbastanza anomala dal punto di vista dell'intensità ondosa.

Nella Tabella 3.3.1 è raccolta la distribuzione della frequenza percentuale dei 17729 dati ondosi statistici triorari registrati dalla boa Wavec al largo di Pescara per classi di altezza significativa e di direzione media di provenienza. Analogamente gli stessi dati della boa sono raccolti nella Tabella 3.3.2 secondo la distribuzione della frequenza percentuale per classi di altezza d'onda significativa e di periodo medio $T(0,2)$. Ovviamente si possono raccogliere i dati secondo i legami dell'altezza d'onda significativa con altri tipi di direzioni di provenienza e periodi ondosi.

Nella Figura 3.3.4 si presenta il grafico della distribuzione direzionale di frequenza del moto ondoso misurato dalla boa al largo di Pescara.

Per quanto riguarda le onde di eventi intensi nella Figura 3.3.5 si riporta il grafico di confronto della distribuzione direzionale di frequenza del moto ondoso misurato dalla stessa boa sia per tutti i dati triorari (17729 valori) che per quelli con altezza significativa superiore ad 1 m (3527 dati) che ancora per quei dati statistici triorari con altezza significativa di almeno 3 m (173 dati). Dall'analisi di quest'ultimo grafico si può facilmente notare che certe caratteristiche direzionali, già abbastanza evidenti per l'intera serie di tutti i dati, si accentuano ulteriormente per le serie dei dati ondosi più alti. Infatti per i dati più alti di un metro aumentano decisamente le frequenze dai mari più settentrionali e calano le frequenze dalle altre direzioni. Per i dati più alti di 3 metri si nota che restano decisamente molto frequenti i settori settentrionali da Tramontana e Greco (che diviene predominante sugli altri) mentre tende a divenire molto meno rilevante la frequenza da Maestrale e da Levante e tendono addirittura a scomparire tutte le altre direzioni.

La serie dei dati ondametrici di Pescara oltre che avere una validità per il regime ondoso della parte meridionale della costa marchigiana, per la maggior vicinanza rispetto alle misure del sito anconitano, sono stati utili anche come controllo degli stessi dati ondametrici rilevati al largo di Ancona. Inoltre è stata eseguita anche per essi, che costituiscono una serie abbastanza estesa di dati, la elaborazione delle serie tronche di valori estremi. Per tale scopo i dati estremi, scelti come tutti gli eventi di mareggiata che hanno raggiunto almeno 2 m di altezza d'onda significativa, sono stati suddivisi in cinque sottosettori direzionali di provenienza (individuati come significativi all'interno della traversia della costa marchigiana). I risultati di queste elaborazioni sono riportati nel paragrafo 4.2).

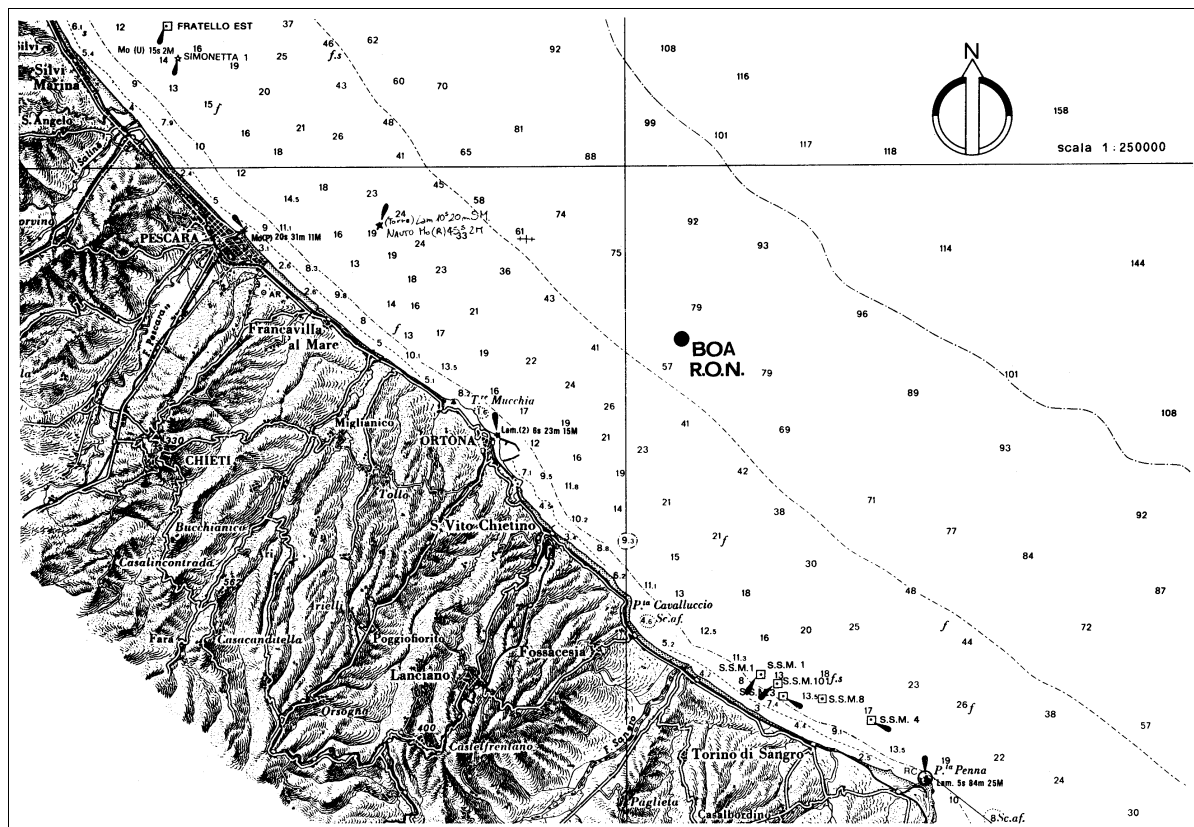


Figura 3.3.1 – Posizione sito di ancoraggio e rilevamento dati della boa ondometrica della R.O.N. al largo di Pescara-Ortona.

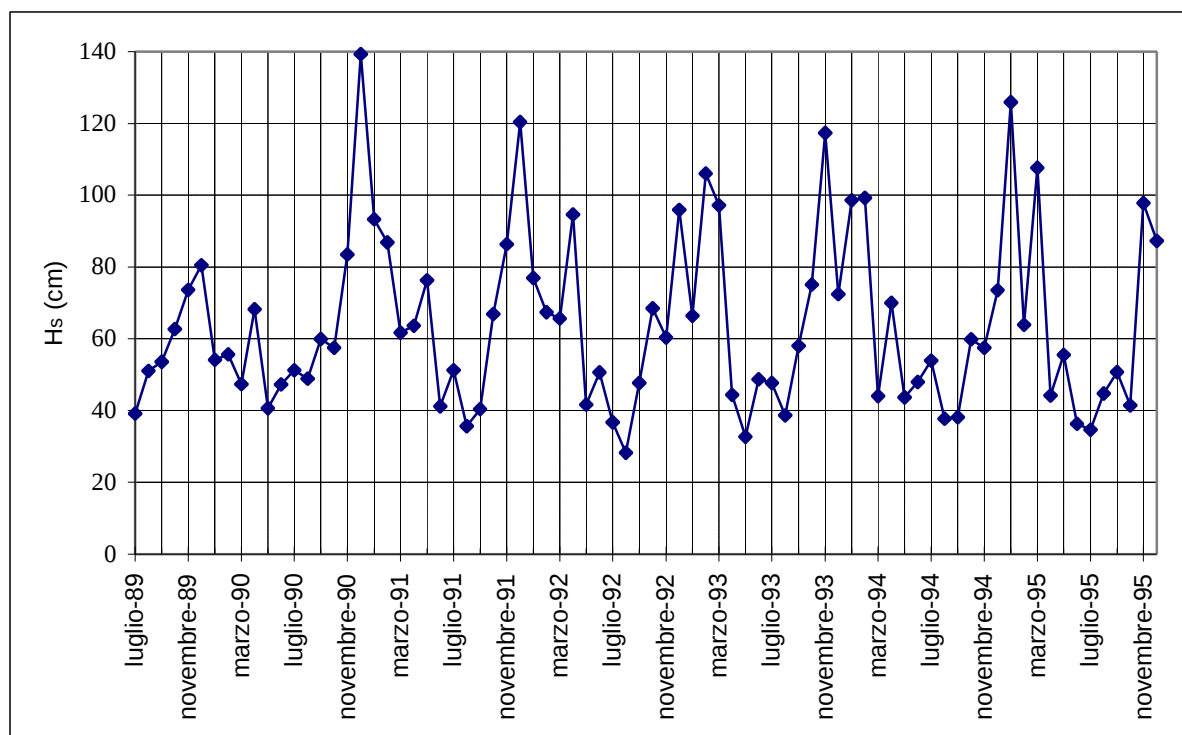


Figura 3.3.2 – Andamento cronologico dell'altezza d'onda media mensile rilevata dalla boa ondometrica della R.O.N. al largo di Pescara-Ortona dal luglio 1989 al dicembre 1995

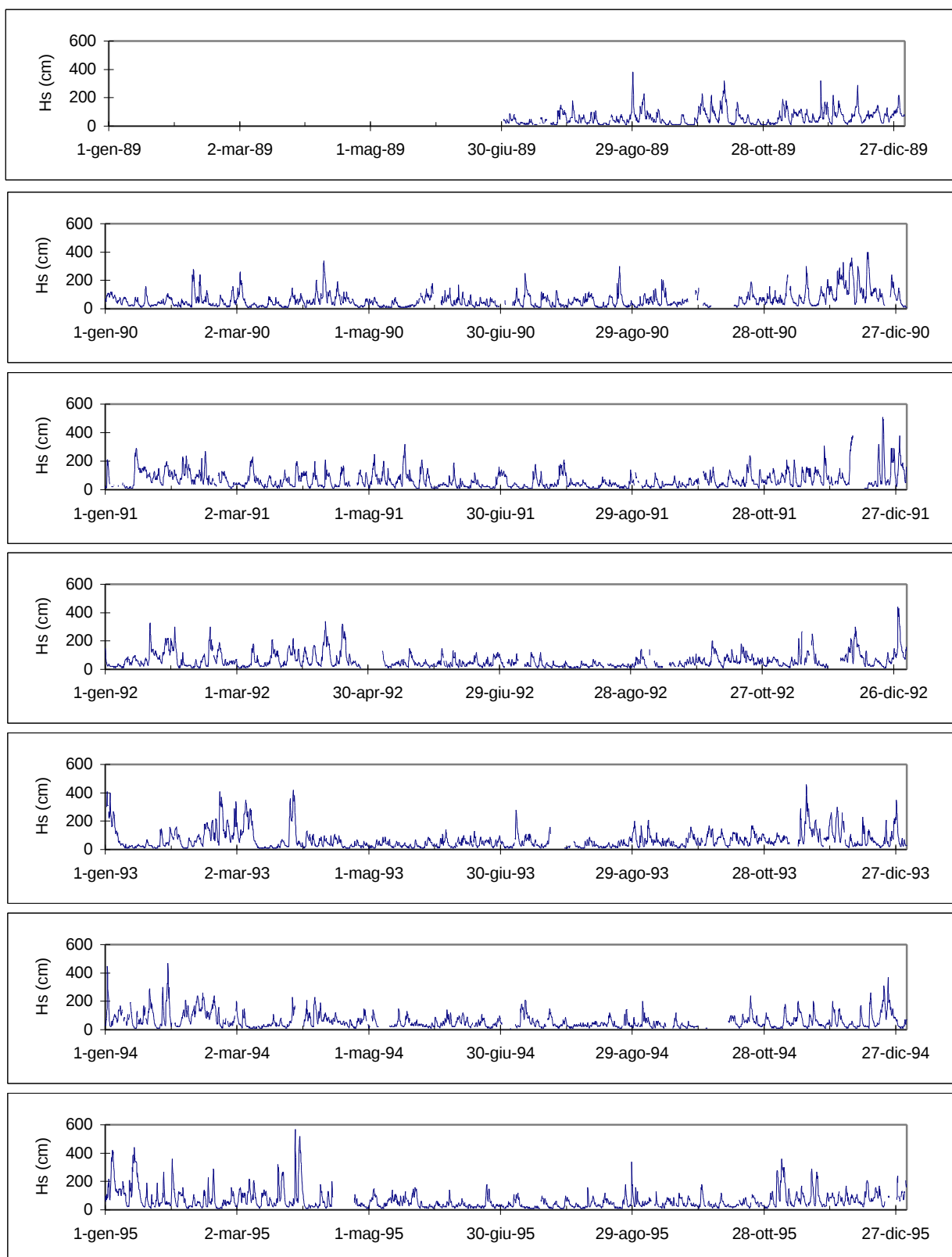


Figura 3.3.3 – Andamento cronologico dell'altezza d'onda significativa rilevata al largo di Pescara dal luglio 1989 al dicembre 1995

Tabella 3.3.1 – Distribuzione della frequenza percentuale per classi di altezza d'onda e settori di direzione media di provenienza dei 17729 dati ondosi triorari registrati dalla boa della R.O.N. al largo di Pescara dal luglio 1989 al dicembre 1995

Settori direzionali di provenienza delle onde	Intervalli di altezza d'onda significativa (in metri)											TOTALE
	0 ÷ 0,5	0,5 ÷ 1,0	1,0 ÷ 1,5	1,5 ÷ 2,0	2,0 ÷ 2,5	2,5 ÷ 3,0	3,0 ÷ 3,5	3,5 ÷ 4,0	4,0 ÷ 4,5	4,5 ÷ 5,0	> 5,0	
345°N ÷ 15°N	11,43	6,31	2,46	1,02	0,52	0,34	0,16	0,10	0,02	0,02	0,01	22,39
15°N ÷ 45°N	6,04	2,87	1,43	0,67	0,53	0,31	0,18	0,10	0,07	0,01	0,01	12,21
45°N ÷ 75°N	6,57	1,93	0,33	0,09	0,03	0,05	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	9,03
75°N ÷ 105°N	13,19	5,10	1,27	0,44	0,14	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	20,22
105°N ÷ 135°N	6,48	1,64	0,64	0,15	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,97
135°N ÷ 165°N	1,11	0,16	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,38
165°N ÷ 195°N	0,42	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44
195°N ÷ 225°N	0,25	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32
225°N ÷ 255°N	0,48	0,25	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77
255°N ÷ 285°N	1,12	0,59	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,78
285°N ÷ 315°N	2,50	0,32	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,90
315°N ÷ 345°N	8,38	6,29	3,12	1,04	0,54	0,15	0,05	0,02	0,01	0,01	0,00	19,61
TOTALE	57,96	25,54	9,53	3,45	1,80	0,92	0,41	0,23	0,10	0,04	0,02	100,00

Tabella 3.3.2 – Distribuzione della frequenza percentuale per classi di altezza d'onda e di periodo medio T(0,2) dei 17729 dati ondosi triorari registrati dalla boa della R.O.N. al largo di Pescara dal luglio 1989 al dicembre 1995

Intervalli di periodo d'onda (in secondi)	Intervalli di altezza d'onda significativa (in metri)											TOTALE
	0 ÷ 0,5	0,5 ÷ 1,0	1,0 ÷ 1,5	1,5 ÷ 2,0	2,0 ÷ 2,5	2,5 ÷ 3,0	3,0 ÷ 3,5	3,5 ÷ 4,0	4,0 ÷ 4,5	4,5 ÷ 5,0	> 5,0	
< 2,0	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
2,0 ÷ 2,5	3,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,40
2,5 ÷ 3,0	15,64	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,07
3,0 ÷ 3,5	19,87	3,75	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,66
3,5 ÷ 4,0	12,09	7,95	0,94	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,98
4,0 ÷ 4,5	4,37	7,24	2,76	0,40	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,79
4,5 ÷ 5,0	1,51	3,44	3,00	1,03	0,41	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,42
5,0 ÷ 5,5	0,60	1,52	1,68	0,96	0,33	0,18	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	5,28
5,5 ÷ 6,0	0,27	0,72	0,65	0,65	0,48	0,17	0,14	0,01	0,00	0,00	0,00	3,08
6,0 ÷ 6,5	0,07	0,38	0,30	0,25	0,39	0,27	0,07	0,05	0,03	0,01	0,00	1,82
6,5 ÷ 7,0	0,02	0,10	0,11	0,09	0,12	0,21	0,08	0,02	0,02	0,01	0,00	0,78
7,0 ÷ 7,5	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03	0,06	0,11	0,10	0,01	0,00	0,00	0,39
7,5 ÷ 8,0	0,02	0,00	0,01	0,03	0,02	0,01	0,00	0,05	0,03	0,02	0,01	0,20
8,0 ÷ 8,5	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,05
8,5 ÷ 9,0	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
9,0 ÷ 9,5	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
9,5 ÷ 10,0	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
>10,0	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
TOTALE	57,96	25,54	9,53	3,45	1,80	0,92	0,41	0,23	0,10	0,04	0,02	100,00

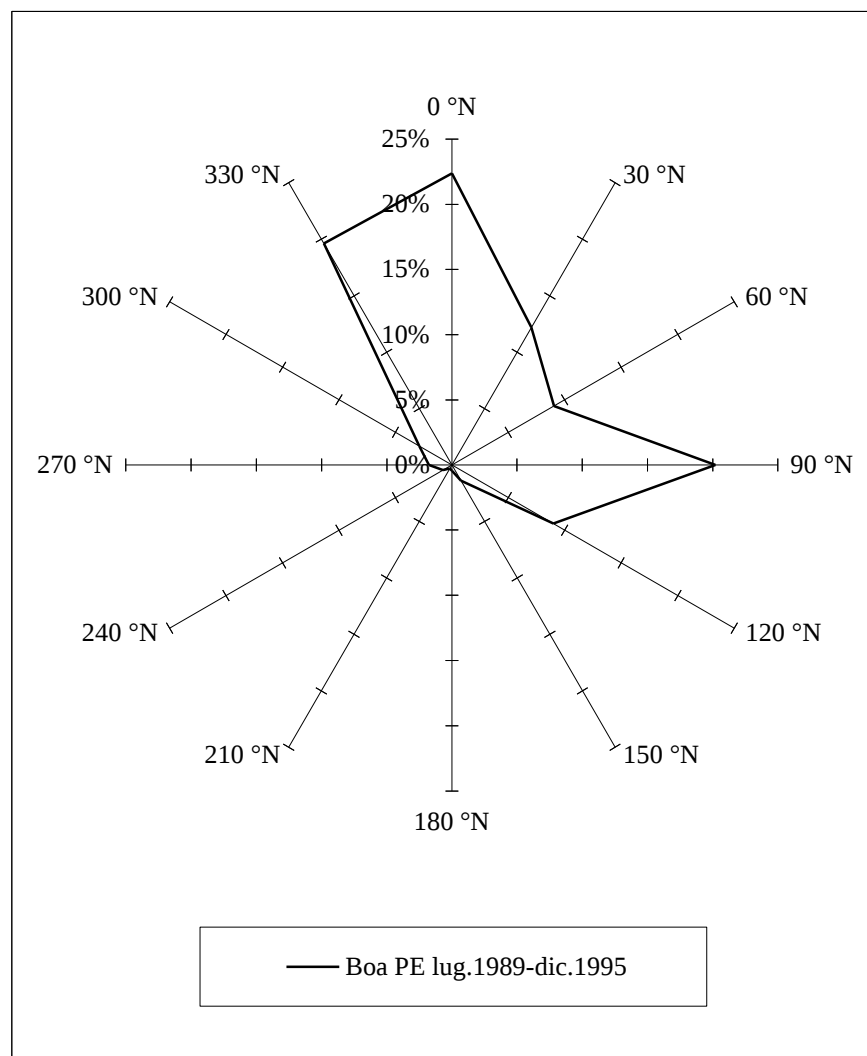


Figura 3.3.4 – Distribuzione direzionale (direzione media di provenienza) delle frequenze percentuali dei 17729 dati ondosi triorari registrati dalla boa della R.O.N. al largo di Pescara dal luglio 1989 al dicembre 1995

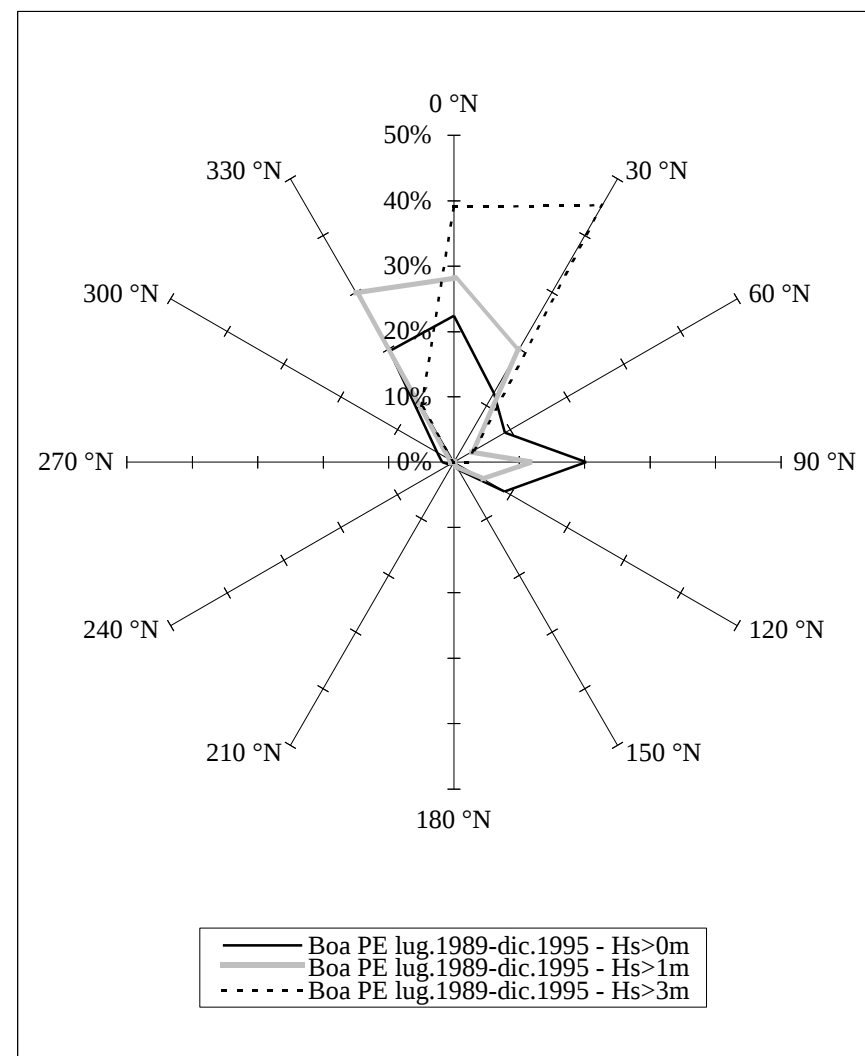


Figura 3.3.5 – Distribuzione direzionale (direzione media di provenienza) delle frequenze percentuali di tutti i dati ondosi triorari, dei 3527 dati con Hs>1m e dei 173 dati con Hs>3m registrati dalla boa della R.O.N. al largo di Pescara dal luglio 1989 al dicembre 1995

3.4) Analisi dei dati ondosi dalle piattaforme dell'A.P.I.

In questo paragrafo vengono prese in esame le misure del moto ondoso effettuate dalla Società A.P.I. (Anonima Petroli Italiana) e riportate dalla Società Aquater sulle varie fasi dello “Studio generale per la difesa delle coste - Regione Marche”.

Tali misure sono state effettuate da un ondometro non direzionale *SEA DATA 635-11*, installato sulla piattaforma fuori-costa girevole monormeggio del terminale marino dell'oleodotto di collegamento alla raffineria A.P.I. di Falconara Marittima, posta circa 8 miglia marine al largo di Ancona su un fondale di circa 32 m in posizione di coordinate geografiche di latitudine $43^{\circ}44'37''$ N e longitudine $13^{\circ}31'15''$ E (vedi Figura 3.4.1).

Tali dati ondametrici non direzionali sono stati rilevati dalla Società A.P.I. in complessivi 18 mesi suddivisi in tre diversi periodi non consecutivi fra il febbraio 1981 ed il maggio 1983.

Gli oltre 2800 dati raccolti consistono in valori triorari dei parametri caratteristici del moto ondoso di H_s , H_{max} , T_s , T_{max} , T_z . Ovviamente mancano le indicazioni direzionali. I periodi temporali delle misure disponibili sono i seguenti:

- 5 febbraio 1981 – 15 ottobre 1981;
- 1 dicembre 1981 – 18 maggio 1982;
- 13 gennaio 1983 – 3 maggio 1983.

Nella Tabella 3.4.1 viene presentata la distribuzione percentuale di frequenza dei dati per classi di altezza d'onda significativa e di periodo significativo, relativamente all'intero campione dei dati rilevati durante tutti i tre periodi di funzionamento dall'ondometro dell'A.P.I..

Nella Figura 3.4.2 sono riportati i grafici degli andamenti cronologici dell'altezza d'onda significativa, relativi ai tre periodi di funzionamento consecutivo dell'ondometro posto sulla piattaforma dell'A.P.I..

Tali misure dell'A.P.I., oltre che fornire una ulteriore indicazione sul regime ondoso del mare antistante la costa marchigiana, sono anche serviti per ricavarne una serie tronca di dati estremi che sono stati elaborati indipendentemente dalla direzione di provenienza di essi, che ovviamente era un dato non disponibile.

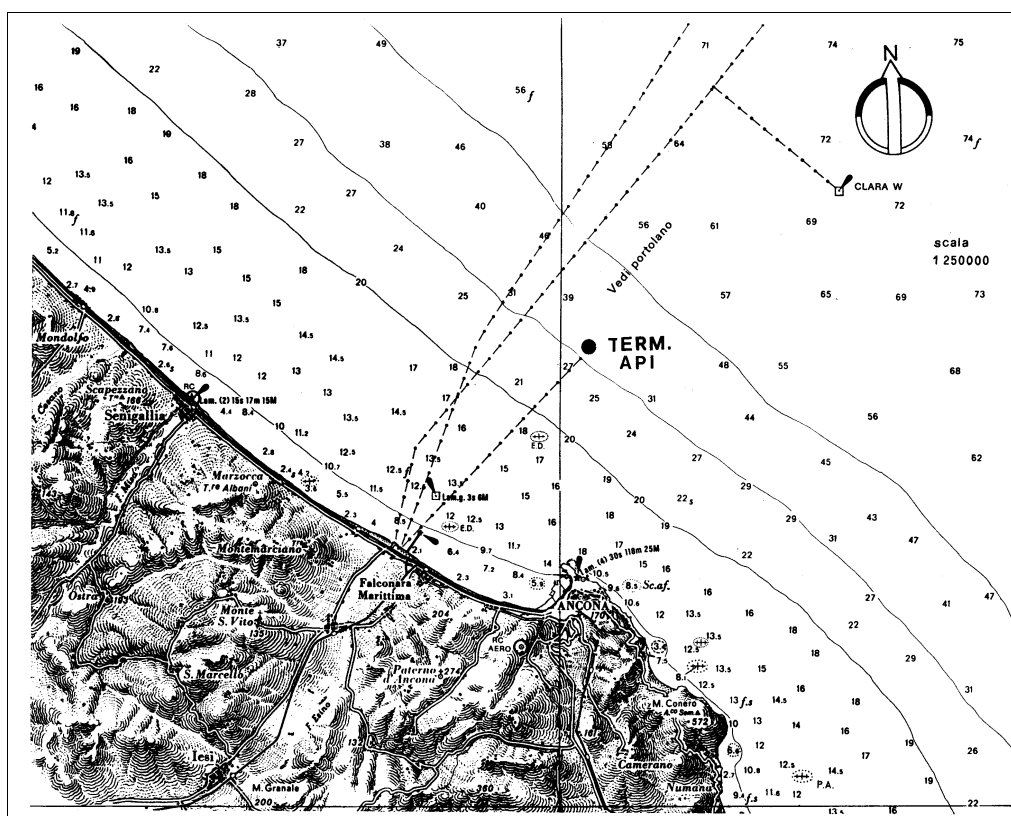


Figura 3.4.1 – Posizione della piattaforma dell'A.P.I. al largo di Ancona e Falconara M.ma dove è stato installato l'ondametro non direzionale di cui si dispongono i dati ondosi fra il 1981 ed il 1983

Tabella 3.4.1 - Distribuzione della frequenza percentuale per classi di altezza d'onda e di periodo significativi dei 2800 dati ondosi trionari non direzionali registrati dall'ondametro posto sulla piattaforma dell'A.P.I. al largo di Ancona e Falconara M.ma dal febbraio 1981 al maggio 1983

	Altezza d'onda significativa H_s (metri)									
Periodo (s)	0,0 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0	3,0 - 3,5	3,5 - 4,0	> 4,0	TOTALE
< 2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
2,0 - 2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
2,5 - 3,0	1,07	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,07
3,0 - 3,5	15,22	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,25
3,5 - 4,0	21,42	1,12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,54
4,0 - 4,5	16,20	3,72	0,12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,04
4,5 - 5,0	7,05	5,75	0,82	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,62
5,0 - 5,5	3,80	4,07	1,70	0,12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,70
5,5 - 6,0	1,72	1,67	2,80	0,55	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,75
6,0 - 6,5	0,90	1,32	1,50	0,95	0,22	0,0	0,0	0,0	0,0	4,90
6,5 - 7,0	0,52	0,32	0,85	0,57	0,45	0,07	0,0	0,0	0,0	2,80
7,0 - 7,5	0,27	0,20	0,45	0,52	0,20	0,25	0,12	0,0	0,0	2,02
> 7,5	0,10	0,47	0,12	0,22	0,20	0,12	0,02	0,02	0,00	1,30
TOTALE	68,28	18,70	8,37	2,95	1,07	0,45	0,15	0,02	0,00	100,00

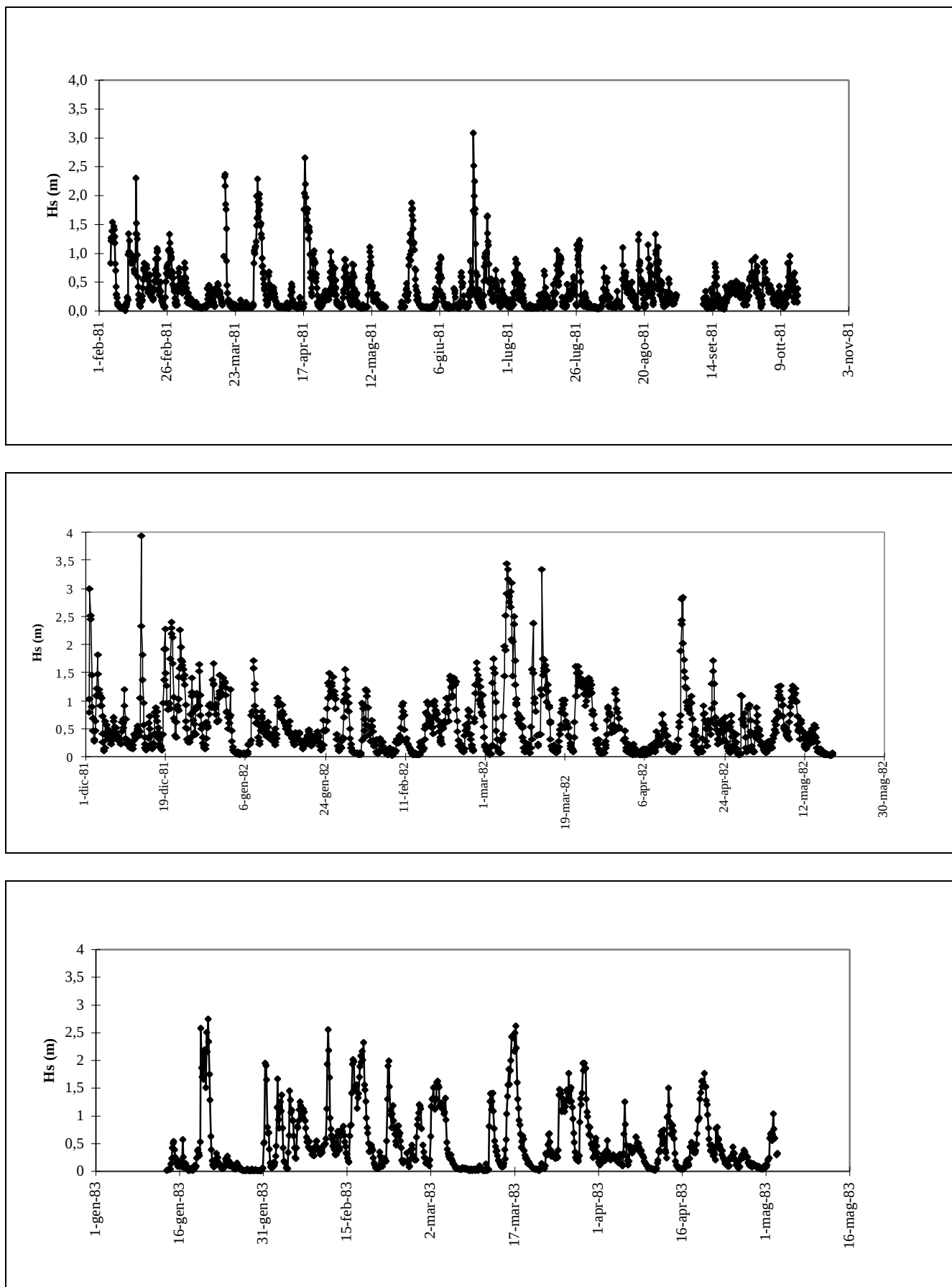


Figura 3.4.2 – Andamento cronologico dell'altezza d'onda significativa rilevata dalla piattaforma dell'A.P.I. al largo di Ancona e Falconara Marittima fra il 1981 ed il 1983

4) ELABORAZIONI PRINCIPALI SUI DATI ONDOSI A DISPOSIZIONE

4.1) Determinazione della relazione più probabile fra altezza e periodo ondosì significativi

Lo scopo è quello di ottenere legami analitici validi con la maggior probabilità possibile per i diversi settori di traversia del moto ondoso al largo dell'intera costa marchigiana, ed adeguati a ricavare il valore del periodo significativo T_s da associare ad una qualsiasi altezza prefissata H_s .

Il settore di traversia geografica dei diversi siti costieri delle Marche comprende le direzioni di NO, N, NE, E e SE ed abbraccia l'intero arco compreso fra i limiti direzionali costituiti dai circa 300°N della visuale del porto di Pesaro e del Monte S.Bartolo a partire dalla diga di protezione del bacino dei cantieri navali Fincantieri in Ancona ed i circa 160°N della visuale della foce del Tronto a partire dal promontorio di Pedaso.

I dati ondametrici direzionali di acque profonde disponibili per il paraggio marino marchigiano, analizzate nei paragrafi precedenti, sono:

- misure boa tipo Wavec ad Ancona, profondità 51 m, periodo registrazione: ott.'89-nov.'90;
- misure boa tipo Wavec a Pescara, profondità 80 m, periodo registrazione: lug.'89-dic.'95;
- stime a vista K.N.M.I. nel medio Adriatico, area $42^\circ/45^\circ\text{N}$ – $12^\circ/16^\circ\text{E}$, periodo: 1961-95.

Tra queste raccolte di dati, quella sicuramente più adatta, relativamente alla determinazione del periodo T_s da associare alle onde di altezza significativa H_s nel paraggio marchigiano, risulta essere quella relativa alla boa ondametrica di Ancona. Tali dati ondosì infatti hanno il duplice vantaggio di essere sia misure precise, e non stime a vista, e sia di provenire da un sito marino esattamente al largo della costa regionale ed anzi in posizione baricentrica rispetto all'intero litorale da Gabicce a San Benedetto del Tronto. Inoltre in tale serie di misure si hanno a disposizione numerosi dati (anche se relativamente ad un solo anno di misure) per ciascun settore direzionale di provenienza delle ondazioni, quindi sufficienti per fornire una descrizione abbastanza completa delle diverse fenomenologie meteomarine in base alla provenienza direzionale, sempre per quanto riguarda il legame H_s - T_s del moto ondoso marchigiano.

Le registrazioni a disposizione forniscono, tra gli altri dati, l'altezza d'onda significativa H_s ed il periodo medio *zero-crossing* $T_z=T_{02}$ (preferibile da considerare rispetto al periodo di picco T_p in quanto più disperso nei valori rispetto a quest'ultimo che, essendo l'inverso della frequenza di picco che è cadenzata ogni *0.01 Hertz* risulta assumere solo valori cadenzati anch'esso). In

particolare nella Figura 4.1.1 si riporta il grafico della distribuzione altezza significativa–periodo medio T_{02} dei 2242 dati, triorari e non, rilevati dalla boa ondametrica di Ancona.

Il periodo significativo T_s può essere calcolato, a partire dal periodo T_{02} , con la relazione

$$T_s = 1.2048 \cdot T_{02}$$

con il coefficiente moltiplicativo dedotto dal valore medio del campo di variazione dei valori ($T_{02}=0.81\div0.85\cdot T_s$) ricavato dalle misure della intera Rete Ondametrica Nazionale nei primi sei anni di rilevazione. Altrimenti le “Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti” del 1994 indicano, “in mancanza di informazioni specifiche”, un diverso campo di variazione ($T_s=1.16\div1.19\cdot T_{02}$), che non è stato appunto considerato in quanto sembra più adatto affidarsi alle informazioni specifiche fornite dalle misure su campo (nei mari italiani) della R.O.N..

Le onde di mare possiedono e conservano caratteristiche diverse in funzione del differente vento che le genera (in particolare della sua forza, della sua durata e soprattutto anche della sua direzione di provenienza, collegata con la lunghezza dei *fetches* da ogni settore direzionale). Ciò è ovviamente dovuto alle diversità meteorologiche generative dei vari venti (tipi di perturbazioni, distribuzione dei campi di pressione, ecc.) provenienti dalle differenti direzioni.

Quindi le onde misurate dalla boa di Ancona si sono dovute suddividere nei diversi settori direzionali allo scopo di individuare, all’interno dell’intera traversia della costa marchigiana, quei settori entro i quali il legame altezza–periodo significativi può considerarsi pressoché omogeneo e può quindi essere rappresentato attraverso una relazione analitica, valida per il settore considerato.

Per poter eseguire quanto descritto si è dovuto ricorrere alla scelta del tipo di dato che indica la direzione delle onde a cui far riferimento per le successive operazioni di suddivisione direzionale. I dati registrati dalla boa infatti forniscono: direzione di picco, direzione media e direzione delle onde da vento. Escludendo a priori quest’ultimo dato, è stato eseguito un confronto grafico fra gli altri due dati direzionali. E’ risultato chiaramente che per la gran parte dei 2242 dati non esistono grandi differenze fra i due predetti valori, quindi non sussistono problemi a considerare indifferentemente l’uno oppure l’altro.

Comunque il dato direzionale più rappresentativo sembra essere quello di picco perché si riferisce alla componente spettrale di maggior contenuto energetico. In conclusione, per le successive elaborazioni, è stata presa come riferimento direzionale proprio il valore di picco in accordo anche con le indicazioni della gran parte della letteratura scientifica sull’argomento.

Sono state così studiate le distribuzioni H_s – T_s dei dati della boa separatamente per i dodici settori di direzione (di picco) di provenienza delle onde ampi 30° che coprono l’intero arco di 360° .

E' stato individuato il settore di traversia geografico della boa riguardo alle direzioni provenienti da acque relativamente alte (profondità superiori a circa 10–15 metri), al fine di poter comprendere solamente quelle onde al largo che risultano quanto più possibile indisturbate. Il settore di traversia così individuato è risultato compreso fra i 295°N, corrispondente alla posizione della linea batimetrica di circa 12 m al largo del promontorio di Gabicce, ed i 160°N della posizione della stessa linea al largo del monte Conero. Esso contiene completamente il settore di traversia dell'intera costa marchigiana, individuato in precedenza.

Lavorando entro questo settore di traversia, raggruppando via via quei dati con direzioni vicine che hanno una simile distribuzione Hs–Ts, si è potuto procedere all'individuazione dei settori direzionali entro i quali i dati risultano distribuiti in maniera pressoché omogenea, con particolare riguardo al legame altezza–periodo significativi delle onde. Sono risultati individuati i quattro settori elencati di seguito:

settore NW (nord ovest):	295°N-330°N;
settore N-NE (nord-nord est):	330°N-75°N;
settore E (est):	75°N-110°N;
settore SE (sud est):	110°N-160°N.

Disponendo i dati di questi quattro settori direzionali a confronto nello stesso diagramma Hs–Ts ed evidenziando di volta in volta quelli relativi a ciascuno dei quattro settori individuati (vedi Figura 4.1.2), si possono notare più chiaramente le differenze sussistenti nel legame altezza–periodo significativi fra i diversi settori. Passando dal settore con direzione di provenienza NW verso quelli con direzione NNE, E ed infine SE, anche se aumenta gradatamente la dispersione dei dati, nell'insieme la nuvola dei punti si sposta progressivamente verso valori di periodo, in ordinata, più alti, cioè, a parità di altezza, i periodi crescono. Ciò ovviamente rispecchia le condizioni reali osservabili nel paraggio esaminato: generalmente i mari di provenienza meridionale contengono onde più lunghe, relativi anche a maggiori *fetches*, rispetto a quelli di provenienza settentrionale.

All'interno di ciascuno dei quattro settori direzionali individuati sono state considerate le principali classi di altezza d'onda così suddivise: 0.25÷0.5 m, 0.5÷1 m, 1÷1.5 m, 1.5÷2 m, 2÷2.5 m. Sono stati esclusi i dati con altezza d'onda significativa inferiore a 0.25 m perché ritenuti poco affidabili per le elaborazioni da compiere. Invece la mancanza di un campione statisticamente valido ha comportato la rinuncia a considerare le classi di dati con valore di Hs superiore a 2.5 m.

Per ciascuno dei quattro settori direzionali sono state ricavate le leggi di regressione del legame altezza–periodo significativi dei dati ondosi sui valori medi relativi a ciascuna classe di altezza d'onda. Il fatto di considerare solo i valori medi di ciascuna determinata classe di altezza

d'onda non costituisce solo una semplificazione numerica, ma anzi risulta importante perché consente di omogeneizzare il peso di ogni classe di dati sulle grandezze statistiche da calcolare.

Nella Tabella 4.1.1 sono riportate, per ogni settore direzionale, le grandezze statistiche necessarie per la costruzione delle leggi di regressione sui valori medi delle diverse classi di altezza d'onda. Sono state riportate le leggi del valor medio e dello scarto quadratico medio

$$\mu(\ln Ts) = r + s \cdot \ln Hs \quad \sigma(\ln Ts) = \exp(p \cdot Hs^q)$$

ottenute dalla regressione dei valori medi delle diverse classi di altezza d'onda per ogni settore considerato.

Essi ($\mu(\ln Ts)$ e $\sigma(\ln Ts)$) costituiscono i parametri della distribuzione di probabilità log-normale del periodo significativo $p(Ts/Hs)$ condizionale sull'altezza d'onda:

$$p(Ts/Hs) = \frac{1}{\sigma \cdot Ts \sqrt{2\pi}} \exp \frac{-(\ln Ts - \mu)^2}{2\sigma^2};$$

nella quale il periodo più probabile (risultante dalla distribuzione condizionale dei periodi) è definito dalla relazione:

$$Ts = \exp(\mu - \sigma^2)$$

I risultati delle elaborazioni, per determinare il periodo ondoso significativo più probabile da associare all'altezza significativa, eseguite sui valori medi delle classi di Hs dei quattro settori direzionali prescelti, sono illustrati rispettivamente nei grafici della Figure 4.1.3 (NW), 4.1.4 (N-NE), 4.1.5 (E), 6 (SE). Vi sono riportati i dati di ognuno dei quattro settori direzionali prescelti ed è mostrato l'adattamento ai dati della curva che descrive il periodo più probabile sopra definito.

Per mettere in relazione fra loro tutte le quattro curve di regressione, ricavate sui valori medi delle classi di altezza d'onda, relativamente ai quattro settori direzionali prescelti, è stato inoltre costruito il grafico di confronto delle quattro leggi analitiche sul diagramma $Hs-Ts$ riportato nella Figura 4.1.7 che fornisce un'indicazione delle differenze esistenti fra le relazioni dei vari settori. Risulta visivamente evidente il progressivo aumento del periodo ondoso passando dal settore NW ai settori NNE, E e SE, come già precedentemente riscontrato.

Per un ulteriore confronto delle leggi ottenute, sono state considerate altre relazioni altezza-periodo significativi, ricavate da studi precedenti o su altri campioni di misure ondose nel medio Adriatico, che sono schematicamente riportate in forma analitica nella seguente Tabella 4.1.2. In particolare risultano elencate nell'ordine: le relazioni $Hs-Ts$ riportate dalla società Aquater nello Studio generale per la difesa della costa marchigiana 1ª fase, le relazioni dei parametri μ e σ riportate dalla stessa Società nella 2ª fase dello stesso Studio, la relazione ricavata da un precedente

studio dell'Istituto di Idraulica di Ancona del 1994 sui dati ondosi del 1989/90 della boa Wavec al largo di Ancona, le relazioni dei parametri μ e σ riportate dalla società Idroser nella prima fase dell' "Aggiornamento ed integrazione del piano progettuale per la difesa della costa emiliano-romagnola", le relazioni riportate da Archetti e Franco (1996) nella ricerca "Nuove analisi di dati ondametrici dei mari italiani" relativamente alle misure della R.O.N. al largo di Pescara.

Per il confronto tra le relazioni H_s – T_s adottate nel presente studio e queste altre note in precedenza per il medio Adriatico, sono stati costruiti i grafici della Figura 4.1.8 (settori di provenienza settentrionale da NW a NE) e della Figura 4.1.9 (settori di provenienza da E e da SE).

In definitiva, per ciascuno dei quattro settori direzionali prescelti, è possibile utilizzare la relativa legge ottenuta del periodo d'onda più probabile, risultante dalla distribuzione log–normale del periodo significativo $p(T_s/H_s)$ condizionale sull'altezza significativa, per valutare il periodo d'onda T_s da associare ad ogni qualsiasi onda di altezza assegnata H_s .

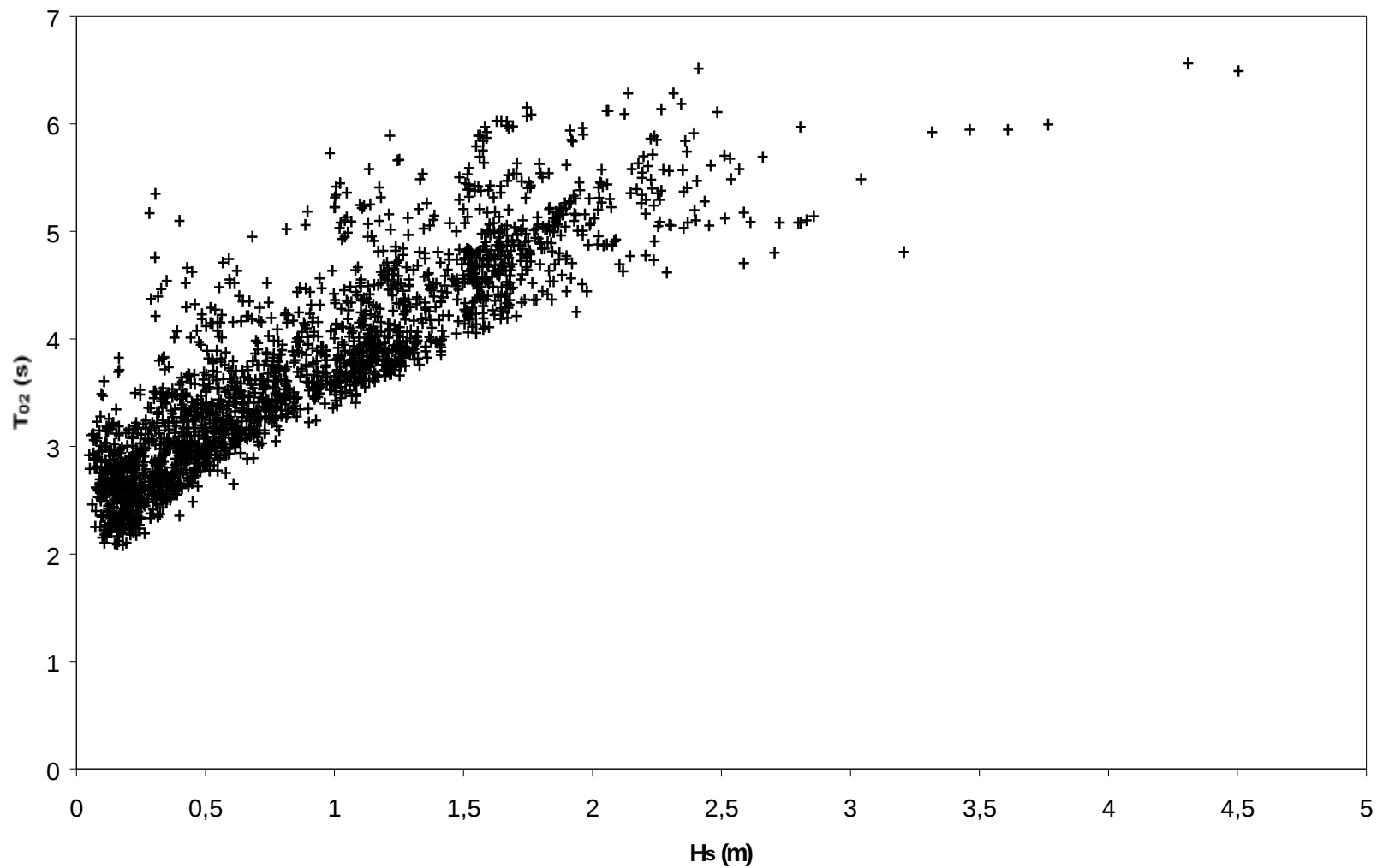


Figura 4.1.1 - Distribuzione H_s - T_{02} dei dati misurati dalla boa Wavec al largo di Ancona fra il 1989 ed il 1990

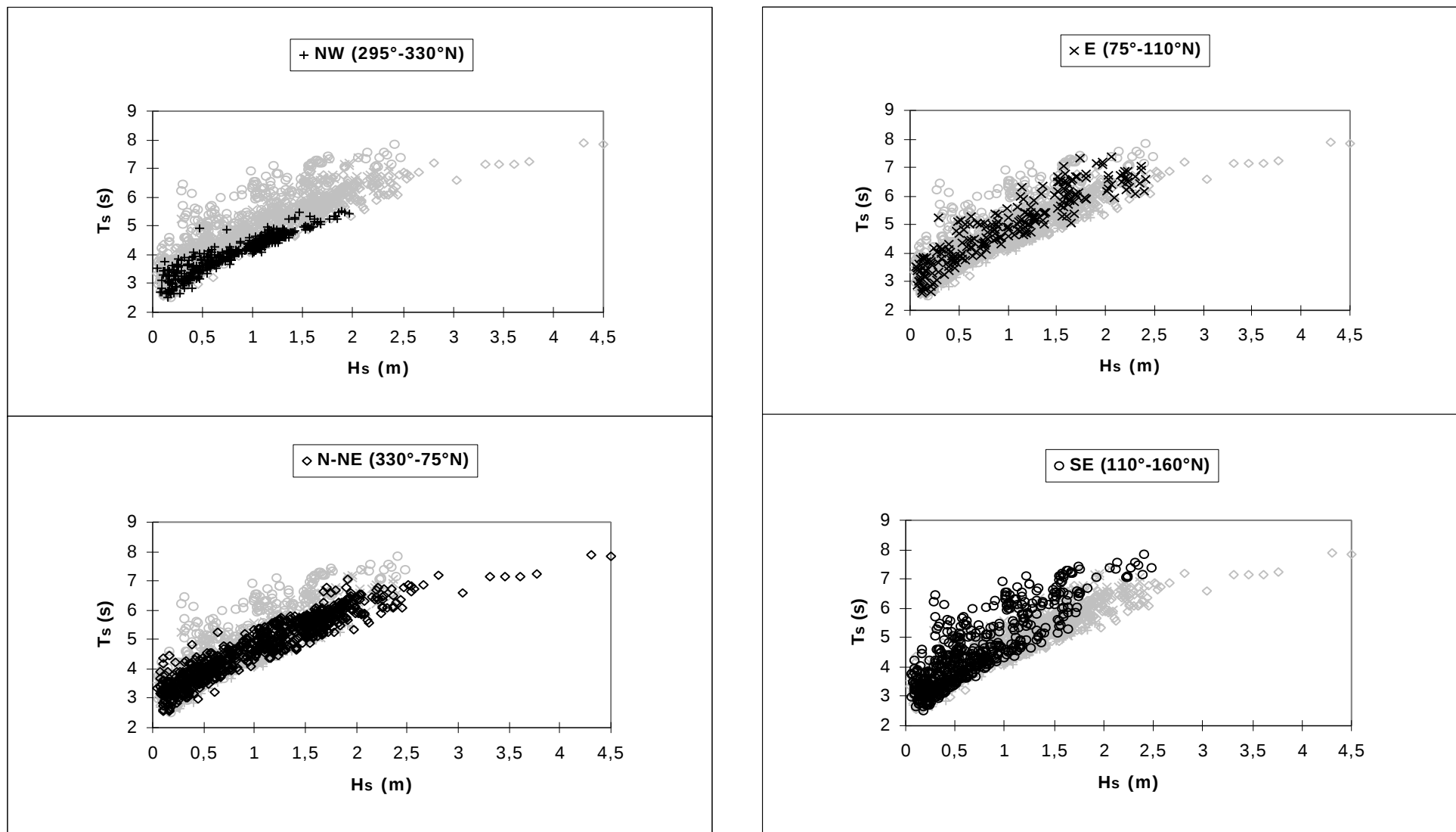


Figura 4.1.2 – Confronto fra le distribuzioni H_s - T_s per i dati dei quattro settori di traversia individuati

NW (295° - 330° N)							
classi H	n°	μ (H)	μ (T)	μ (ln H)	μ (ln T)	σ (ln T)	-ln σ
0,25 - 0,5	69	0,3796	3,4258	-0,9865	1,2261	0,1021	2,2817
0,5 - 1,0	93	0,7168	3,9552	-0,3528	1,3726	0,0704	2,6531
1,0 - 1,5	167	1,1701	4,5561	0,1528	1,5154	0,0464	3,0703
1,5 - 2,0	23	1,6823	5,1747	0,5168	1,6431	0,0382	3,2651
2,0 - 2,5	0						

$$s(\ln T) = \exp(-2,901 H^{0,2475})$$

$$m(\ln T) = 0,2749 \ln H + 1,4853$$

E (75° - 110° N)							
classi H	n°	μ (H)	μ (T)	μ (ln H)	μ (ln T)	σ (ln T)	-ln σ
0,25 - 0,5	27	0,3822	3,9213	-0,9779	1,3587	0,1253	2,0771
0,5 - 1,0	51	0,7385	4,5897	-0,3217	1,5192	0,0978	2,3250
1,0 - 1,5	45	1,2055	5,2529	0,1827	1,6554	0,0830	2,4893
1,5 - 2,0	46	1,6570	6,2110	0,5027	1,8226	0,0868	2,4436
2,0 - 2,5	24	2,2006	6,5590	0,7872	1,8796	0,0509	2,9775

$$s(\ln T) = \exp(-2,42741 H^{0,1722})$$

$$m(\ln T) = 0,3042 \ln H + 1,6366$$

Sett. totale (0° - 360° N)							
classi H	n°	μ (H)	μ (T)	μ (ln H)	μ (ln T)	σ (ln T)	-ln σ
0,25 - 0,5	410	0,3750	3,6585	-0,9982	1,2862	0,1437	1,9403
0,5 - 1,0	506	0,7082	4,2571	-0,3643	1,4416	0,1171	2,1445
1,0 - 1,5	479	1,1949	5,0058	0,1726	1,6043	0,1103	2,2046
1,5 - 2,0	354	1,6827	5,8800	0,5173	1,7675	0,0898	2,4101
2,0 - 2,5	77	2,2103	6,4985	0,7914	1,8685	0,0787	2,5426

$$s(\ln T) = \exp(-2,2278 H^{0,1454})$$

$$m(\ln T) = 0,3276 \ln H + 1,5858$$

N - NE (330° - 75° N)							
classi H	n°	μ (H)	μ (T)	μ (ln H)	μ (ln T)	σ (ln T)	-ln σ
0,25 - 0,5	124	0,3805	3,6747	-0,9823	1,2970	0,0949	2,3550
0,5 - 1,0	154	0,7073	4,2600	-0,3652	1,4451	0,0918	2,3876
1,0 - 1,5	165	1,2215	5,0934	0,1939	1,6253	0,0727	2,6216
1,5 - 2,0	231	1,6981	5,7724	0,5262	1,7511	0,0635	2,7559
2,0 - 2,5	37	2,1962	6,2690	0,7848	1,8344	0,0510	2,9750

$$s(\ln T) = \exp(-2,5948 H^{0,1325})$$

$$m(\ln T) = 0,3084 \ln H + 1,5809$$

SE (110° - 160° N)							
classi H	n°	μ (H)	μ (T)	μ (ln H)	μ (ln T)	σ (ln T)	-ln σ
0,25 - 0,5	141	0,3711	3,8656	-1,0097	1,3357	0,1777	1,7278
0,5 - 1,0	163	0,6984	4,4468	-0,3787	1,4830	0,1341	2,0090
1,0 - 1,5	87	1,1777	5,6328	0,1580	1,7200	0,1330	2,0171
1,5 - 2,0	49	1,6267	6,4789	0,4850	1,8640	0,0973	2,3296
2,0 - 2,5	12	2,2701	7,3537	0,8184	1,9947	0,0327	3,4200

$$s(\ln T) = \exp(-2,21831 H^{0,3158})$$

$$m(\ln T) = 0,3707 \ln H + 1,674$$

T = periodo significativo (secondi)

H = altezza significativa (metri)

m = media

s = deviazione standard

Periodo più probabile della distribuzione log-normale:

$$T = \exp[m(\ln T) - s(\ln T)^2]$$

Tabella 4.1.1 – Studio dei valori caratteristici per le classi di altezza d'onda

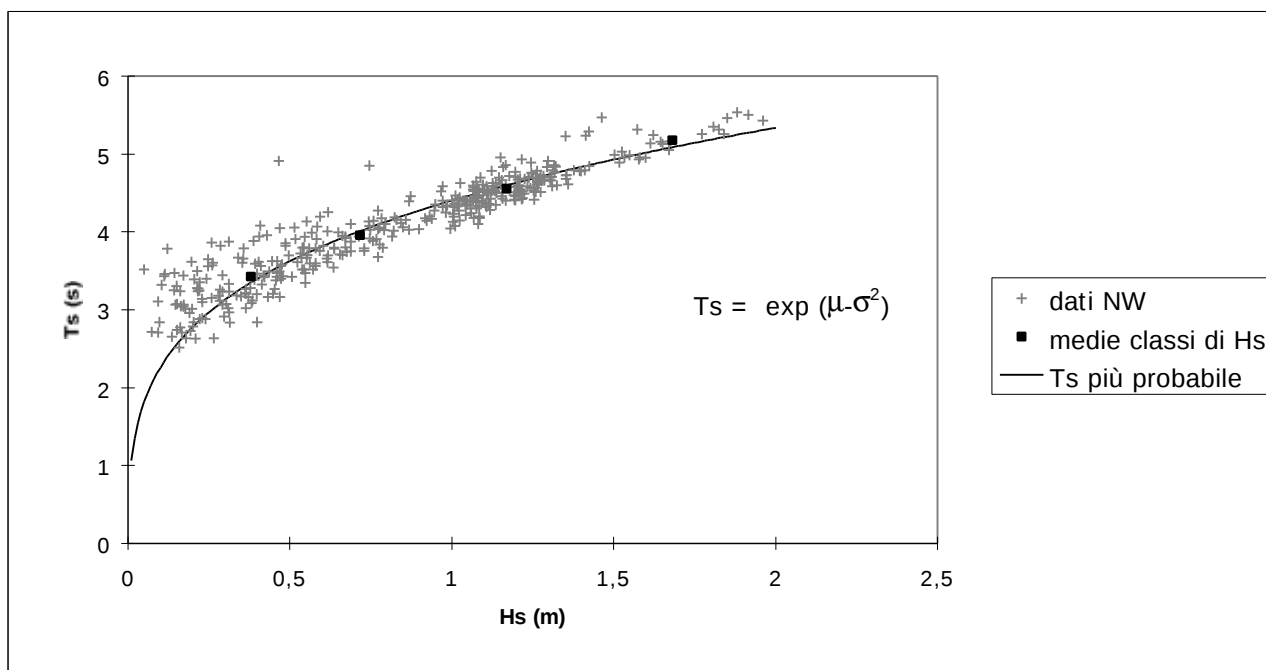


Figura 4.1.3 – Distribuzione H_s - T_s dei dati e curva della legge analitica del periodo più probabile ricavata dalle elaborazioni sui valori medi delle classi di H_s per il settore NW (295°N-330°N)

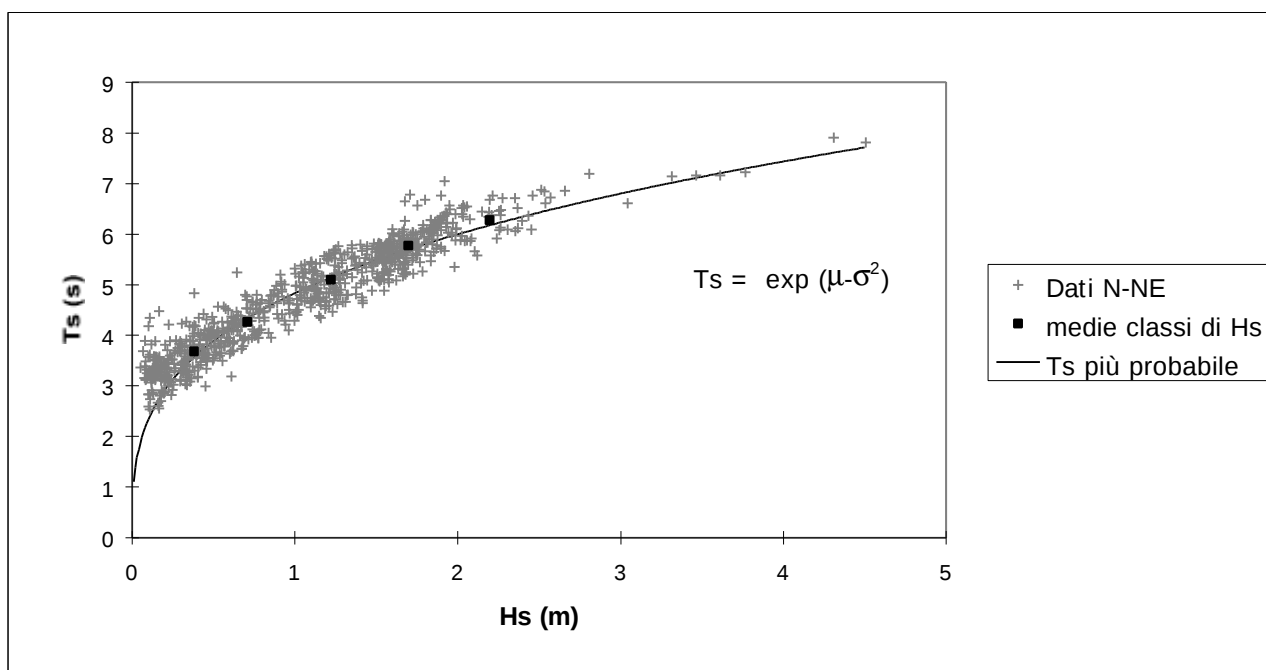


Figura 4.1.4 – Distribuzione H_s - T_s dei dati e curva della legge analitica del periodo più probabile ricavata dalle elaborazioni sui valori medi delle classi di H_s per il settore N-NE (330°N-75°N)

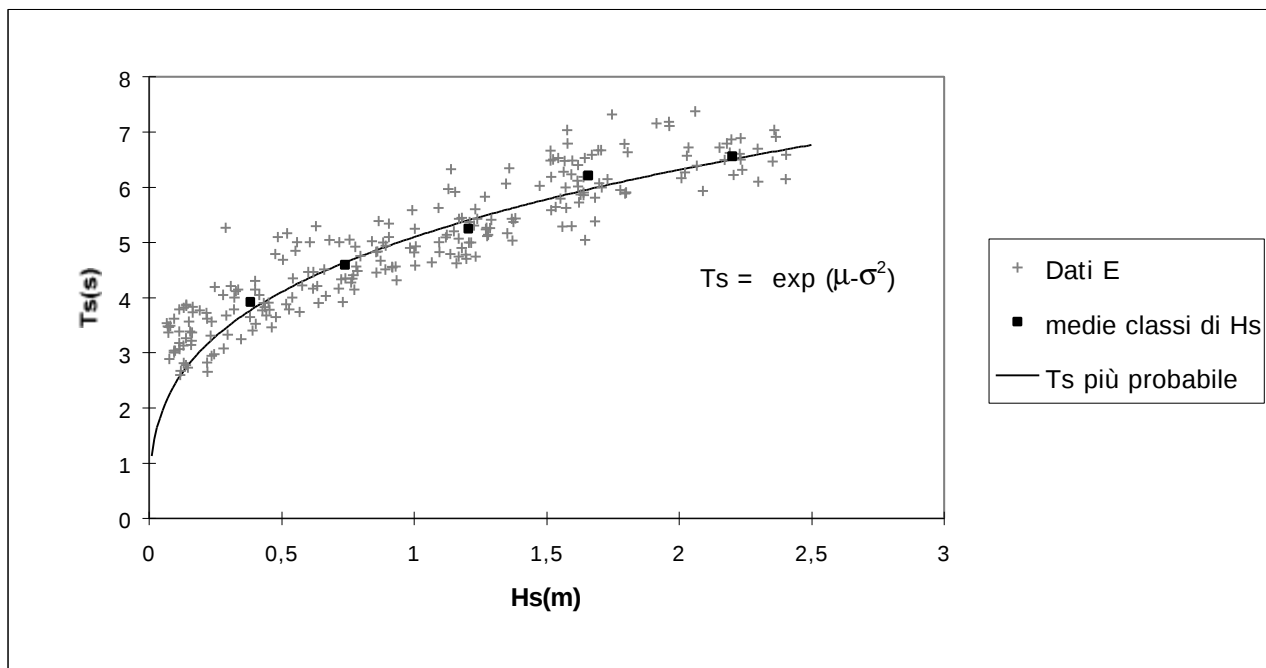


Figura 4.1.5 – Distribuzione H_s - T_s dei dati e curva della legge analitica del periodo più probabile ricavata dalle elaborazioni sui valori medi delle classi di H_s per il settore E (75°N-110°N)

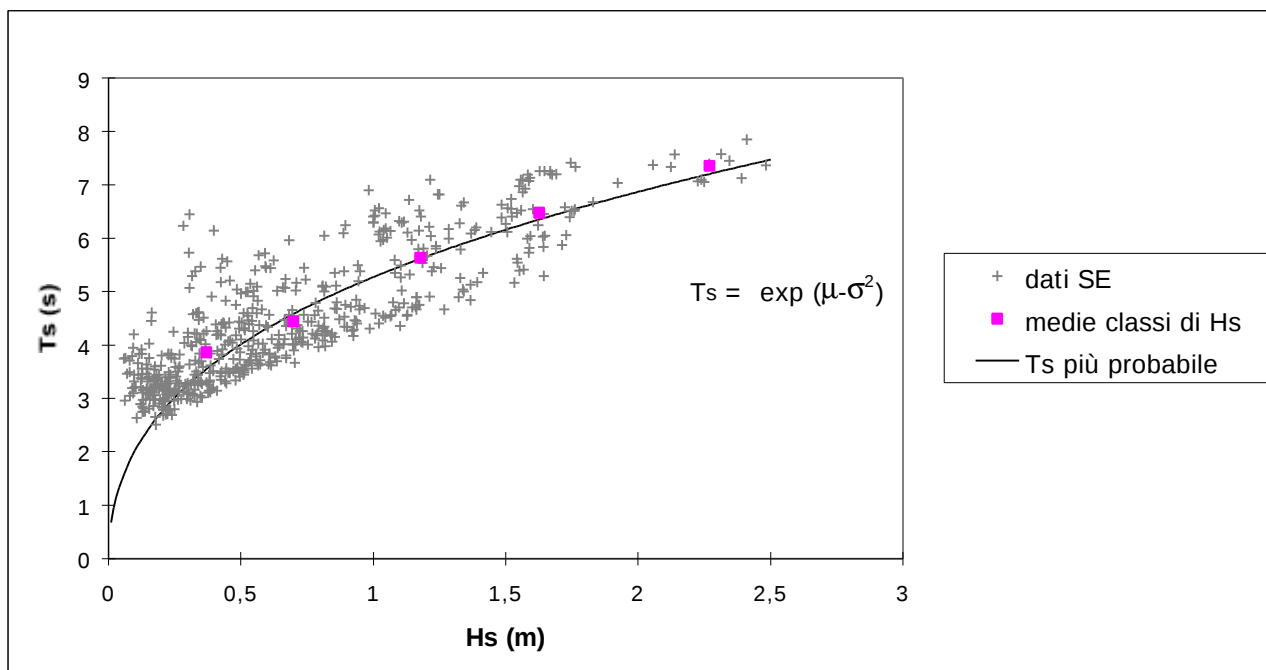


Figura 4.1.6 – Distribuzione H_s - T_s dei dati e curva della legge analitica del periodo più probabile ricavata dalle elaborazioni sui valori medi delle classi di H_s per il settore SE (110°N-160°N)

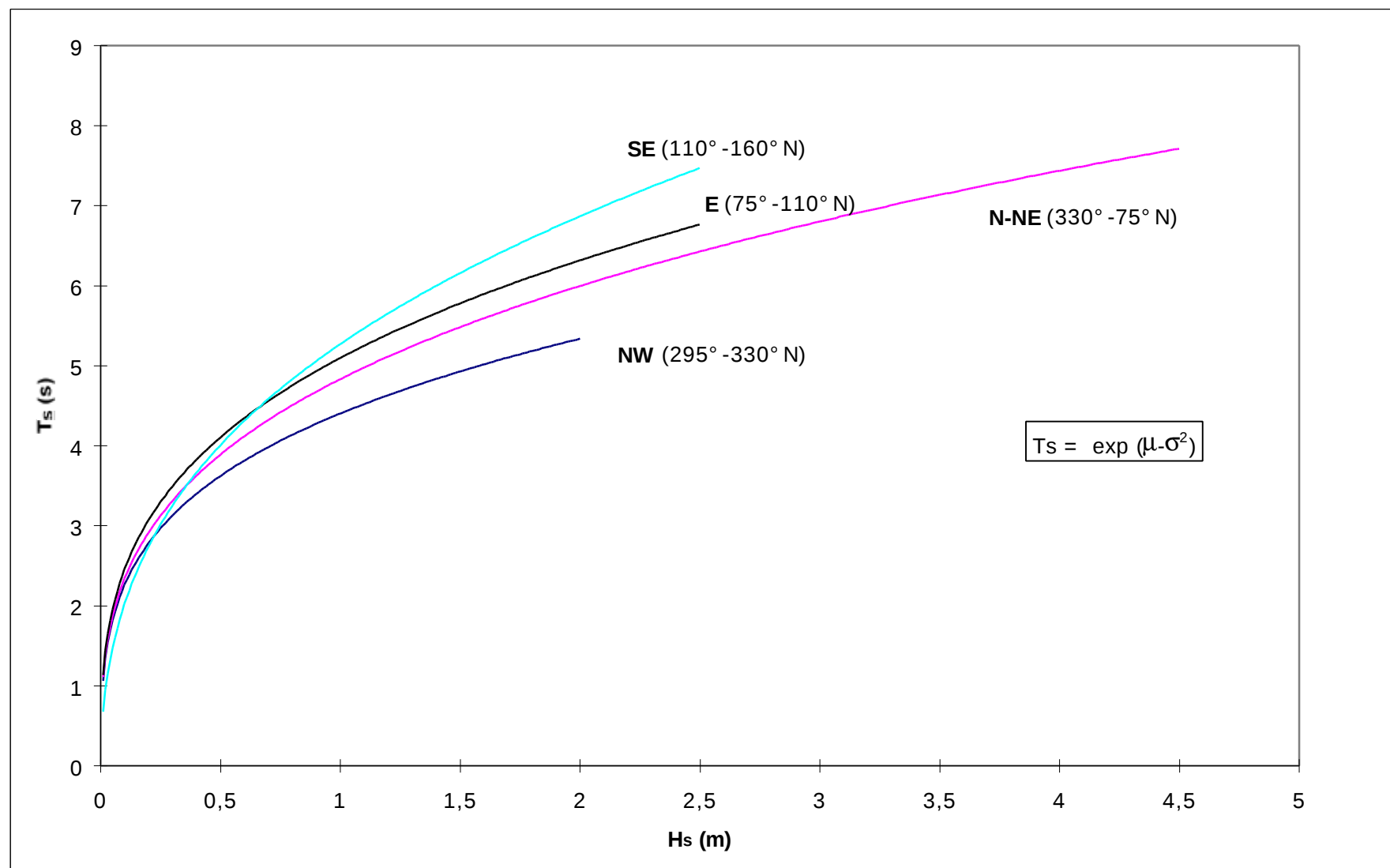


Figura 4.1.7 – Confronto riepilogativo fra le curve (altezza d'onda significativa - periodo significativo più probabile) per i quattro settori direzionali individuati

Ente o misure	Settore direzionale	Legge analitica proposta
AQUATER (Marche 1 ^a fase)	NNW-E	$T_s = 4.5H_s^{0.5}$
	ESE-SSW	$T_s = 5.5H_s^{0.5}$
AQUATER (Marche 2 ^a fase)	0°-360°N	$\mu(\ln T_s) = 1.712 + 0.265 \ln H_s$
		$\sigma(\ln T_s) = \exp(-2.1H_s^{0.2553})$
	330°-75°N	$\mu(\ln T_s) = 1.665 + 0.219 \ln H_s$
		$\sigma(\ln T_s) = \exp(-2.42H_s^{0.299})$
	75°-180°N	$\mu(\ln T_s) = 1.774 + 0.260 \ln H_s$
		$\sigma(\ln T_s) = \exp(-2.0H_s^{0.147})$
ISTITUTO IDRAULICA '94	0°-360°N	$T_s = 1.697H_s + 3$
IDROSER (Emilia Romagna)	330°-75°N	$\mu(\ln T_s) = 14.1 \tan^{-1}[9.33(H_s + 0.859)] - 19.9$
		$\sigma(\ln T_s)^2 = 0.0332H_s^{-1.145}$
	75°-165°N	$\mu(\ln T_s) = 4.30 \tan^{-1}[2.10(H_s + 1.13)] - 4.37$
		$\sigma(\ln T_s)^2 = 0.03H_s^{-1.13}$
Rete Ondametica Nazionale (boa Pescara)	325°-15°N	$T_s = 5.07H_s^{0.32}$
	15°-75°N	$T_s = 5.92H_s^{0.21}$

Tabella 4.1.2 – Relazioni analitiche altezza-periodo ondosi significativi note nell'Adriatico centrale

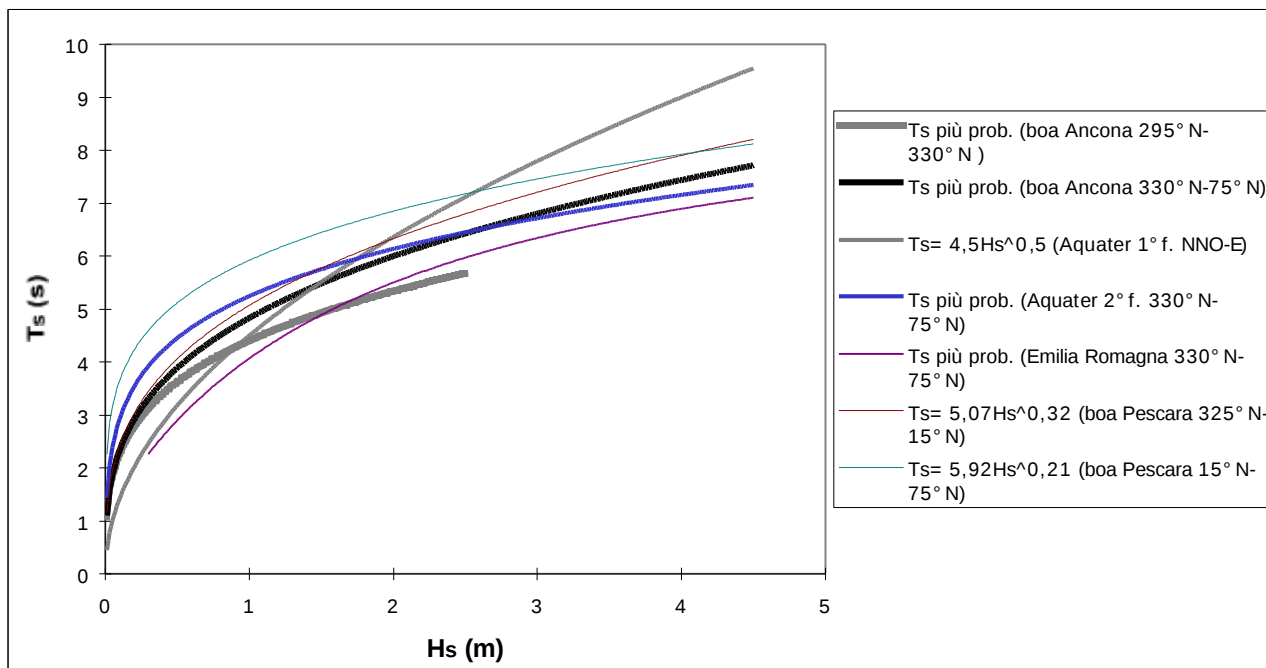


Figura 4.1.8 – Confronto sul diagramma H_s - T_s fra i grafici della curva del periodo più probabile e delle espressioni ricavate in ricerche precedenti (per onde provenienti dai settori settentrionali)

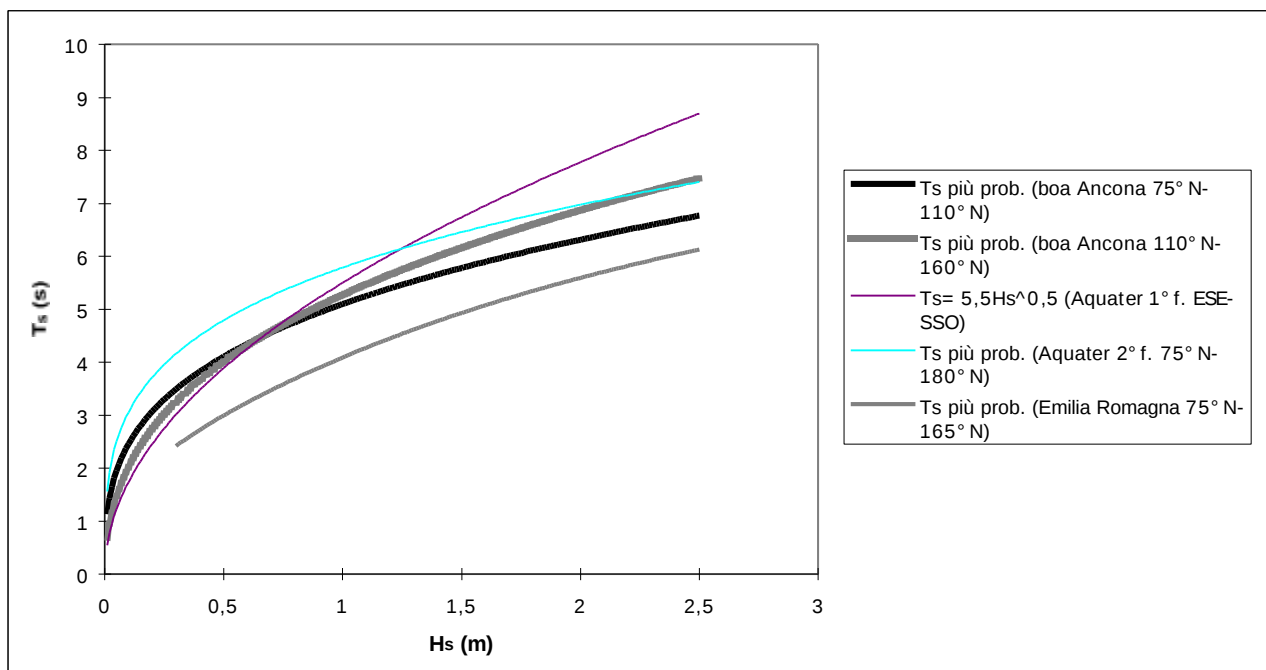


Figura 4.1.9 – Confronto sul diagramma H_s - T_s fra i grafici della curva del periodo più probabile e delle espressioni ricavate in ricerche precedenti (per onde provenienti dai settori E e SE)

4.2) Analisi delle onde estreme

In questo paragrafo viene illustrata la procedura standard adottata per l'analisi statistica dei valori estremi delle altezze d'onda significative. L'applicazione viene fatta utilizzando serie di dati ondosi, i cui regimi medi al largo sono già stati definiti nei paragrafi precedenti. Si tratta dei dati del K.N.M.I. "Settore italiano", della boa ondometrica della R.O.N. al largo di Pescara e della piattaforma della società A.P.I. al largo di Ancona-Falconara M.ma. Queste serie hanno il notevole vantaggio, rispetto alle altre raccolte di dati disponibili, di coprire un periodo di tempo sicuramente molto esteso negli anni, la qual cosa attribuisce una notevole valenza statistica ai loro dati.

4.2.1) Selezione dei dati da analizzare

È probabilmente questo l'aspetto più importante dell'analisi statistica dei valori estremi. I modelli di analisi delle onde estreme richiedono che il campione venga estratto dall'intera serie di dati e che debba essere comunque rappresentativo dell'intera popolazione di dati. Nel nostro caso i dati consistono in altezze d'onda significative.

Nel 1990 la "*Section on Maritime Hydraulics of the International Association for Hydraulic Research*" ha organizzato la costituzione del "*Working Group on Extreme Wave Statistics*" le cui raccomandazioni sono state pubblicate a nome di Mathiesen et al. (1994). Il suddetto gruppo internazionale di lavoro raccomanda di utilizzare il metodo delle serie tronche, o "di durata parziale sopra una soglia" (*P.O.T.*), come già proposto da Goda (1988).

L'uso del metodo richiede che i massimi scelti siano indipendenti fra loro. La scelta della soglia deve essere basata su informazioni fisiche e meteorologiche: ad esempio si possono usare le carte meteorologiche per determinare il numero medio N_a di eventi significativi di tempesta che interessano le zone di indagine. Il gruppo di lavoro raccomanda che la soglia deve essere scelta in modo tale che il numero medio dei dati superiori alla soglia sia uguale o poco meno ad N_a . Dall'analisi generale delle carte meteorologiche, eseguita in precedenti ricerche sulle fasce costiere italiane, risulta che N_a è circa pari a 25-30, con i valori più alti nelle fasce costiere nord-occidentali.

4.2.2) Scelta della legge probabilistica

Non esistono giustificazioni teoriche per scegliere una legge di distribuzione di probabilità rispetto ad un'altra, di solito si utilizzano quelle che meglio interpretano i dati sperimentali.

Spesso per interpolare le altezze d'onda significative misurate nei diversi mari viene utilizzata la distribuzione di Weibull a 3 parametri. Tale legge di probabilità è data nella forma che segue:

$$(4.2.1) \quad F(x) = 1 - \exp[-(x-B)/A]^c$$

dove i parametri sono detti:

A = parametro di scala;

B = parametro locale;

c = parametro di forma (di valore compreso fra 0.75 e 2).

La corrispondente distribuzione trunca per il metodo *P.O.T.* è espressa dalla relazione seguente:

$$(4.2.2) \quad F_T(x) = [F(x) - F(x_0)] / [1 - F(x_0)] = 1 - \exp[-((x-B)/A)^c + ((x_0-B)/A)^c]$$

dove: $F_T(x)$ = probabilità di non superamento nella serie trunca;

x_0 = soglia o punto di troncamento, deve risultare: $x < x_0 < B$.

Se si trova che il fattore di forma c è prossimo ad 1, si può utilizzare la distribuzione di Gumbel per le serie tronche.

$$F_T(x) = \left[e^{-e^{-(x-B)/A}} - e^{-e^{-(x_0-B)/A}} \right] \cdot \frac{1}{1 - e^{-e^{-(x_0-B)/A}}}$$

Il suggerimento fornito da Goda (1988) è quello di tentare l'adattamento dei dati estremi di altezza d'onda sia con la legge di distribuzione di Gumbel che con quelle di Weibull a 3 parametri.

4.2.3) Calcolo dei parametri della distribuzione probabilistica

Si dispone di quattro metodi per determinare i parametri di una prescelta legge di distribuzione di probabilità adattata ad una serie di dati:

- metodo grafico;
- metodo dei momenti;
- metodo dei minimi quadrati;
- metodo della massima verosimiglianza.

Il metodo dei minimi quadrati dà buoni risultati se viene usato nella stima dei parametri delle leggi di probabilità di Gumbel e Weibull a 3 parametri, sia per serie complete che per serie tronche di dati di altezza d'onda. In questo lavoro non si prendono in considerazione gli altri metodi perché non sempre applicabili alle serie tronche di dati.

4.2.3.1) Metodo dei minimi quadrati

La probabilità di non superamento (in termini di frequenza cumulata “FC”), da assegnare ad ogni dato estremo ordinato (in senso crescente o decrescente), in dipendenza del numero d’ordine e del numero totale di dati, viene chiamato da Goda (1988) *position plotting*.

Il già richiamato gruppo di lavoro del 1994 suggerisce di usare le formule per il calcolo della FC come proposto da Petrauskas e Aagaard (1971) o da Goda (1988). Nel presente lavoro si è fatto uso delle formule di Gringorten (1963), come proposto da Goda (1988) per le serie tronche.

Per la legge di Gumbel risulta:

$$(4.2.3) \quad FC = 1-(m-0.44)/(N_T+0.12)$$

dove:

N_T = numero totale della serie di dati, compresi quelli sotto la soglia;

m = numero d’ordine: 1, 2,..., N;

N = numero di dati sopra la soglia.

Per la legge di Weibull a 3 parametri risulta:

$$(4.2.4) \quad FC = 1-(m-a)/(N_T+b)$$

dove α e β , funzioni del fattore di forma c della distribuzione di Weibull, sono suggeriti da Goda (1988), come estensione di precedenti formulazioni di Petrauskas e Aagaard (1971):

$$a = 0.20+0.27\ddot{O}c; \quad b = 0.20+0.23\ddot{O}c.$$

Il fattore di forma c è variabile fra 0.75 e 2. Nel presente caso si sceglie di considerare quattro diverse distribuzioni di Weibull a 3 parametri, volta per volta con ciascuno dei seguenti valori di c : 0.75, 1, 1.4, 2.

4.2.4) Calcolo del valore estremo con fissato tempo di ritorno per le varie leggi di probabilità.

Descrizione dell’elaborazione per i dati del K.N.M.I. “Settore italiano”

Viene descritta a titolo di esempio l’elaborazione statistica sui dati del K.N.M.I. “Settore italiano”, ma la procedura seguita ha validità del tutto generale. Verrà ripetuta anche per le altre serie di dati diversi (boa di Pescara e dati A.P.I.) per confrontare e verificare gli estremi K.N.M.I..

In accordo sostanziale con quanto già detto nel paragrafo 4.1), circa la traversia geografica della costa marchigiana (dai 300°N ai 160°N) e la suddivisione in settori direzionali omogenei per le onde, per il calcolo del valore estremo con fissato tempo di ritorno, si è fatto riferimento separatamente ai dati ondosi compresi nei seguenti settori direzionali 295°N-330°N, 330°N-75°N,

75°N-110°N, 110°N-150°N. All'interno di ciascun intervallo sono state selezionate tutte le mareggiate indipendenti che hanno superato altezze d'onda di 2m.

In particolare per il settore di traversia 295°N-330°N, si ha un campione formato da 37 dati di altezza d'onda quindi relativi al picco raggiunto da 37 mareggiate provenienti da tale settore. Abbiamo così $N_T=37$ valori di cui è stata innanzitutto verificata l'indipendenza.

Il primo passo della procedura *P.O.T.* di analisi di una serie tronca di dati estremi, già descritta e proposta da Goda (1988), è l'ordinamento in senso decrescente dei dati medesimi (x_m) e l'assegnazione ad ognuno del numero d'ordine (m), come riportato nella Tabella 4.2.1.

Sono state calcolate le frequenze cumulate FC (*position plotting*) con la formula (4.2.3) e (4.2.4) sia per la legge di Gumbel che per le quattro distribuzioni di Weibull (con $c=0,75-1-1,4-2$). Per ogni valore di FC si calcola la corrispondente variabile ridotta (y_m) nel seguente modo:

- per la legge di Gumbel:

$$(4.2.5) \quad y_m = -\ln[-\ln(FC)]$$

- per la distribuzione di Weibull a 3 parametri:

$$(4.2.6) \quad y_m = [-\ln(1-FC)]^{1/c}$$

Tenendo conto della fenomenologia delle mareggiate del medio Adriatico e delle raccomandazioni del *Working Group*, si è scelto di fissare la soglia di troncamento delle altezze d'onda a 3 m. Si ha così un valore $N=17$ di dati estremi sopra la soglia dal detto settore direzionale.

Poiché esiste una relazione lineare tra le variabili ordinate (x_m) e le variabili ridotte (y_m):

$$(4.2.7) \quad x_m = A y_m + B$$

si possono interpolare i dati ai minimi quadrati, per stimare i parametri di scala e locale A e B .

Le 17 coppie (x_m, y_m) per Gumbel, ed ugualmente quelle per le quattro distribuzioni di Weibull, sono state interpolate separatamente ai minimi quadrati, come riportato graficamente nella Figura 4.2.1, e sono stati così stimati i parametri A e B , riportati nella legge analitica di regressione.

Nella tabella 4.2.2 sono riportate le elaborazioni aggiuntive, sugli stessi dati del settore direzionale suddetto, che consentono di calcolare le altezze d'onda estreme con tempi di ritorno di 5, 10, 20, 50 e 100 anni. I valori calcolati delle altezze d'onda estreme per i detti tempi di ritorno sono riportati nella Tabella 4.2.2. Sono state utilizzate le seguenti espressioni:

$$(4.2.8) \quad H = A y_T + B$$

dove la variabile ridotta, nel caso dell'elaborazione della serie tronca di dati estremi indicata con y_T , è valutata dal tempo di ritorno con le espressioni:

- per la legge di Gumbel:

$$(4.2.9) \quad y_T = -\ln[-\ln(1-1/T)]$$

- per le leggi di Weibull:

$$(4.2.10) \quad y_T = [\ln(l \cdot T)]^{1/c}$$

dove: T = tempo di ritorno

$l = N_T/n^\circ \text{anni di osservazione}$ (corrispondente al numero medio di eventi per anno).

Le espressioni (3.7.9) e (3.7.10) sono ottenute invertendo la formula

$$(4.2.11) \quad F[x(T)] = 1 - t/T$$

dove t è il tempo medio tra due mareggiate.

I valori ottenuti di H sono stati poi corretti seguendo le indicazioni spiegate nel seguente paragrafo 4.2.5), ottenendo i risultati finali dei valori “corretti” indicati con H_{corr} , riportati, nei vari casi delle leggi probabilistiche individuate, sia sulla suddetta Tabella 4.2.2 che graficamente, in funzione del tempo di ritorno, nella Figura 4.2.2. In essa i vari punti relativi a ciascuna legge distributiva sono stati uniti da una linea spezzata, utile per distinguerle ed anche per una interpolazione dei valori intermedi. Nella Tabella 4.2.2 sono stati riportati anche gli errori standard $s(H)$ della elaborazione estemale, ottenuti come spiegato successivamente nel paragrafo 4.2.6).

Le stesse elaborazioni, sopra descritte per la direzione 295°N-330°N, sono state ripetute per i settori direzionali 330°N-75°N, 75°N-110°N e 110°N-150°N, come riportato nelle Tabelle da 4.2.3 a 4.2.8 e nelle Figure da 4.2.3 a 4.2.8.

4.2.5) Correzione del valore estremo con fissato tempo di ritorno, quando la distribuzione della popolazione non è nota

Adattare un campione di dati ad una distribuzione probabilistica quando non si conosce la esatta consistenza e distribuzione della intera popolazione da cui il campione viene estratto, comporta sempre un errore nella stima del valore estremo, calcolato per un fissato tempo di ritorno, detto “errore sistematico”.

Goda (1988) tenta una correzione di questo eventuale errore sistematico assumendo che le cinque leggi di distribuzione considerate (1 Gumbel e 4 Weibull) abbiano la stessa probabilità di esistere in natura. Con simulazioni tipo Montecarlo, Goda ha costruito da 2000 a 10000 campioni. Dall’analisi dei risultati propone una formulazione empirica che rappresenti l’errore dovuto alla mancata conoscenza della reale consistenza e della esatta distribuzione della intera popolazione:

$$(4.2.12) \quad \bar{Z}_n = \begin{cases} A_c(y_T + a \ln n) & \text{per } y_T > -a \ln n \\ 0 & \text{per } y_T \leq -a \ln n \end{cases}$$

Nel caso della legge di Gumbel:

per $n = 1.0$;

$$A_c = 0.046 - 0.40 [\log_{10}(60/N)]^3 \quad \text{quando} \quad N < 60$$

$$= 0.046 \exp\{-2.5 [\log_{10}(60/N)]^2\} \quad \text{quando} \quad N \geq 60$$

$$a = 0.9, \quad p = 1.0$$

per $n = 0.5 \text{ \& } 0.25$;

$$A_c = 0.01 - 0.044 [\log_{10}(N/300)]^4$$

$$a = 0.9, \quad p = 1.0$$

nel caso della legge di Weibull ($c=0.75$):

$$A_c = 0.030 \exp\{-0.6 [\log_{10}(N/4)]^2\} \quad \text{quando} \quad n = 1.0$$

$$= 0.025 \exp\{-0.7 [\log_{10}(N/15)]^2\} \quad \text{quando} \quad n = 0.5 \text{ \& } 0.25$$

$$a = 2.7, \quad p = 1.6$$

nel caso della legge di Weibull ($c=1.0$):

$$A_c = 0.028 N^{-0.25} \quad \text{quando} \quad n = 1.0$$

$$= 0.0022 - 0.0006 [\log_{10}(N/50)]^2 \quad \text{quando} \quad n = 0.5 \text{ \& } 0.25$$

$$a = 2.7, \quad p = 1.6$$

nel caso della legge di Weibull ($c=1.4$):

$$A_c = -0.40 N^{0.5} \quad \text{quando} \quad n = 1.0$$

$$= -0.10 N^{0.4} \quad \text{quando} \quad n = 0.5 \text{ \& } 0.25$$

$$a = 0.5, \quad p = 2.7$$

nel caso della legge di Weibull ($c=2.0$):

$$A_c = -0.50 N^{0.7} \quad \text{quando} \quad n = 1.0$$

$$= -0.64 N^{0.5} \quad \text{quando} \quad n = 0.5 \text{ \& } 0.25$$

$$a = 0.35, \quad p = 3.4$$

La correzione viene fatta attraverso $\bar{Z}_n$ con la relazione:

$$(4.2.13) \quad (H_{corr}) = H - \bar{Z}_n \cdot s_x$$

Nella Tabella 4.2.2 sono riportate anche le altezze corrette, secondo quanto detto sopra, chiamate H_{corr} , per il settore direzionale 295°N-330°N dei dati del K.N.M.I.. Per gli altri settori valgono identicamente le relative Tabelle 4.2.4, 4.2.6 e 4.2.8.

Goda (1988) segnala, come effettivamente riscontrato nel presente lavoro, come la correzione dell'errore sistematico con la formula (4.2.13) sia eccessivo per la Weibull con $c=2$, ciò è dovuto al fatto di aver assunto uguale probabilità indistintamente per le 5 distribuzioni esaminate.

4.2.6) Calcolo dei limiti di confidenza

Le incertezze nella valutazione della stima probabilistica di grandezze casuali, con un fissato tempo di ritorno, dipendono principalmente da:

- variabilità statistica intrinseca delle grandezze naturali (mancata rappresentatività da parte di una distribuzione di valori estremi) detta variabilità campionaria;
- incertezza dovuta ad una possibile scelta impropria del modello di distribuzione dei valori estremi;
- incertezza statistica nel calcolo dell'altezza d'onda significativa a causa del limitato periodo dell'osservazione.

Generalmente le formule empiriche disponibili calcolano un errore standard (approssimato) dal valore ottenuto, per un fissato tempo di ritorno T , mettendo in conto solo la variabilità statistica rappresentata dal modello di distribuzione.

Stime più dettagliate dei limiti di confidenza si possono ottenere, come suggerisce il *Working Group* del 1994, adottando tecniche di simulazione di tipo Montecarlo. Si raccomanda di costituire circa 2000 simulazioni tipo Montecarlo, ognuna generata su un identico numero di valori estratti dal modello di distribuzione probabilistica dei valori estremi in esame.

In questo lavoro è stato calcolato il valore dell'errore standard, $s(H)$, associato a ciascuna stima dei valori estremi secondo quanto proposto da Goda (1988). L'autore ha condotto 2000-10000 simulazioni con tecnica Montecarlo per varie combinazioni di leggi di distribuzione, dimensione del campione e livelli di soglia. Come risultato delle precedenti elaborazioni Goda ha proposto una formulazione empirica per il calcolo dell'errore standard associato a ciascuna stima estrema delle altezze d'onda significative.

L'errore standard è definito come:
$$\bar{S}_n = s \left[(\bar{H} - H) / s_x \right]$$

dove: s_x = deviazione standard della serie tronca di dati;

H = altezze d'onda reali avente tempo di ritorno T ;

$\bar{H}$ = altezze d'onda stimata con il tempo di ritorno T .

Come valori di altezze d'onda si considerano quelli corretti come nel paragrafo 4.2.5.

L'errore standard viene calcolato con la formula

$$(4.2.14) \quad \bar{S}_n = \left[1.0 + A_s |y_T + a \ln n|^p \right] / \sqrt{N}$$

Il coefficiente A_s è espresso dalla:

$$(4.2.15) \quad A_s = b_1 + b_2 [\log_{10}(N/N_c)]^2$$

i coefficienti a , N_c , b_1 , b_2 , p sono tabellati di seguito in funzione del valore di n e della legge di distribuzione prescelta, dove:
$$n = N_T / N.$$

Distribuzione	v	b ₁	b ₂	N _c	p	α
FT-1	1.0	0.24	0.6	80	1.6	0.9
	0.5, 0.25	0.46	0.14	50	1.6	0.9
Weibull (k=0.75)	1.0	0.57	0.18	20	1.2	2.7
	0.5, 0.25	0.41	0.22	20	1.2	2.7
Weibull (k=1.0)	1.0	0.55	0.15	15	1.7	1.0
	0.5, 0.25	0.38	0.17	20	1.7	1.0
Weibull (k=1.4)	1.0	0.37	0.08	1000	2.3	0.5
	0.5, 0.25	0.46	0.09	20	2.3	0.5
Weibull (k=2.0)	1.0	0.30	0.36	80	3.2	0.35
	0.5, 0.25	0.56	0.20	100	3.2	0.35

Il valore assoluto dell'errore standard può essere stimato come:

$$(4.2.16) \quad s(H) = S_n^* s_x$$

Nella Tabella 4.2.2 sono riportati, per ogni valore di altezze d'onda corretta stimata per i dati del K.N.M.I., i relativi valori dell'errore standard $s(H)$, per il settore direzionale 295°N-330°N. Per gli altri settori vengono costruite allo stesso modo le relative Tabelle 4.2.4, 4.2.6 e 4.2.8.

L'errore standard cresce all'aumentare del tempo di ritorno. Esso rappresenta un indicatore del grado di affidabilità della grandezza estrema (nel nostro caso l'altezza d'onda) stimata.

4.2.7) Conclusioni per l'elaborazione delle serie tronche di dati estremi del K.N.M.I.

Il confronto tra le diverse leggi probabilistiche utilizzate per la regolarizzazione dei valori estremi di altezza d'onda dei dati del K.N.M.I., per i settori angolari individuati, è riportato nelle Figure 4.2.2, 4.2.4, 4.2.6 e 4.2.8. I valori stimati dell'altezza significativa per un assegnato tempo di ritorno sono sostanzialmente vicini nei cinque casi. Comunque per ciascun settore direzionale si è adottata la legge che ha il migliore coefficiente di correlazione ed i relativi valori estremi stimati.

Tabella 4.2.1 – Analisi delle onde estreme dei dati del K.N.M.I. “Settore italiano”, settore di provenienza 295°N-330°N

m	xm	Gumbel		Weibull (0,75)		Weibull (1,00)		Weibull (1,40)		Weibull (2,00)	
		FT	ym	FT	ym	FT	ym	FT	ym	FT	ym
1	6,0	0,9849	4,19	0,9870	7,08	0,9858	4,26	0,9847	2,78	0,9837	2,03
2	5,0	0,9580	3,15	0,9603	4,77	0,9591	3,20	0,9580	2,28	0,9569	1,77
3	4,0	0,9310	2,64	0,9336	3,78	0,9324	2,69	0,9312	2,02	0,9302	1,63
4	3,5	0,9041	2,29	0,9069	3,17	0,9057	2,36	0,9045	1,84	0,9034	1,53
5	3,0	0,8772	2,03	0,8802	2,73	0,8790	2,11	0,8777	1,70	0,8766	1,45
6	3,0	0,8502	1,82	0,8535	2,39	0,8523	1,91	0,8510	1,58	0,8499	1,38
7	3,0	0,8233	1,64	0,8268	2,11	0,8255	1,75	0,8243	1,48	0,8231	1,32
8	3,0	0,7963	1,48	0,8001	1,89	0,7988	1,60	0,7975	1,40	0,7963	1,26
9	3,0	0,7694	1,34	0,7734	1,69	0,7721	1,48	0,7708	1,32	0,7696	1,21
10	3,0	0,7425	1,21	0,7467	1,53	0,7454	1,37	0,7440	1,25	0,7428	1,17
11	3,0	0,7155	1,09	0,7201	1,38	0,7187	1,27	0,7173	1,18	0,7161	1,12
12	3,0	0,6886	0,99	0,6934	1,25	0,6920	1,18	0,6905	1,12	0,6893	1,08
13	3,0	0,6616	0,88	0,6667	1,13	0,6652	1,09	0,6638	1,06	0,6625	1,04
14	3,0	0,6347	0,79	0,6400	1,03	0,6385	1,02	0,6371	1,01	0,6358	1,00
15	3,0	0,6078	0,70	0,6133	0,93	0,6118	0,95	0,6103	0,96	0,6090	0,97
16	3,0	0,5808	0,61	0,5866	0,85	0,5851	0,88	0,5836	0,91	0,5822	0,93
17	3,0	0,5539	0,53	0,5599	0,77	0,5584	0,82	0,5568	0,86	0,5555	0,90
18	2,5	0,5269	0,45	0,5332	0,70	0,5317	0,76	0,5301	0,82	0,5287	0,87
19	2,5	0,5000	0,37	0,5065	0,63	0,5049	0,70	0,5034	0,77	0,5019	0,83
20	2,5	0,4731	0,29	0,4798	0,57	0,4782	0,65	0,4766	0,73	0,4752	0,80
21	2,5	0,4461	0,21	0,4531	0,51	0,4515	0,60	0,4499	0,69	0,4484	0,77
22	2,5	0,4192	0,14	0,4265	0,46	0,4248	0,55	0,4231	0,65	0,4216	0,74
23	2,5	0,3922	0,07	0,3998	0,41	0,3981	0,51	0,3964	0,61	0,3949	0,71
24	2,5	0,3653	-0,01	0,3731	0,36	0,3714	0,46	0,3696	0,58	0,3681	0,68
25	2,5	0,3384	-0,08	0,3464	0,32	0,3446	0,42	0,3429	0,54	0,3413	0,65
26	2,5	0,3114	-0,15	0,3197	0,28	0,3179	0,38	0,3162	0,50	0,3146	0,61
27	2,5	0,2845	-0,23	0,2930	0,24	0,2912	0,34	0,2894	0,46	0,2878	0,58
28	2,5	0,2575	-0,30	0,2663	0,21	0,2645	0,31	0,2627	0,43	0,2611	0,55
29	2,5	0,2306	-0,38	0,2396	0,18	0,2378	0,27	0,2359	0,39	0,2343	0,52
30	2,5	0,2037	-0,46	0,2129	0,15	0,2111	0,24	0,2092	0,36	0,2075	0,48
31	2,5	0,1767	-0,55	0,1862	0,12	0,1843	0,20	0,1824	0,32	0,1808	0,45
32	2,5	0,1498	-0,64	0,1595	0,10	0,1576	0,17	0,1557	0,28	0,1540	0,41
33	2,5	0,1228	-0,74	0,1329	0,07	0,1309	0,14	0,1290	0,24	0,1272	0,37
34	2,5	0,0959	-0,85	0,1062	0,05	0,1042	0,11	0,1022	0,20	0,1005	0,33
35	2,5	0,0690	-0,98	0,0795	0,04	0,0775	0,08	0,0755	0,16	0,0737	0,28
36	2,5	0,0420	-1,15	0,0528	0,02	0,0508	0,05	0,0487	0,12	0,0469	0,22
37	2,5	0,0151	-1,43	0,0261	0,01	0,0240	0,02	0,0220	0,07	0,0202	0,14

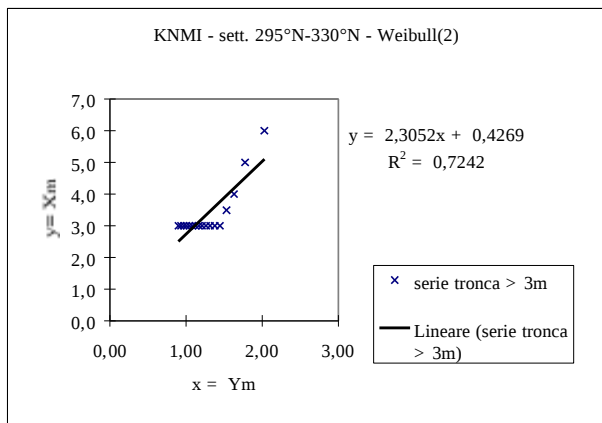
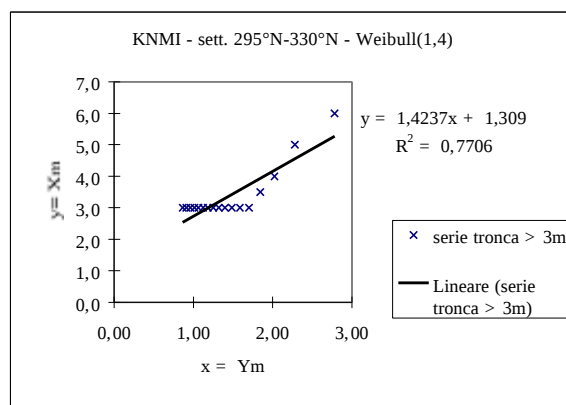
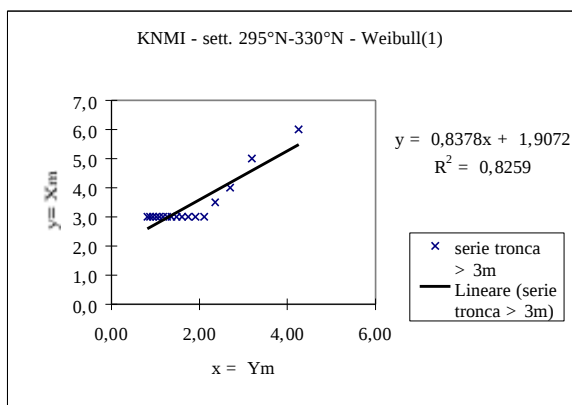
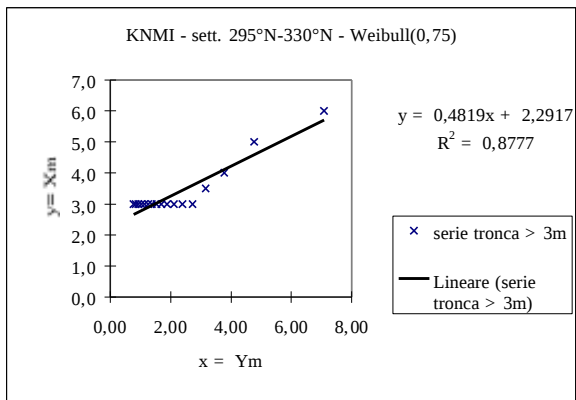
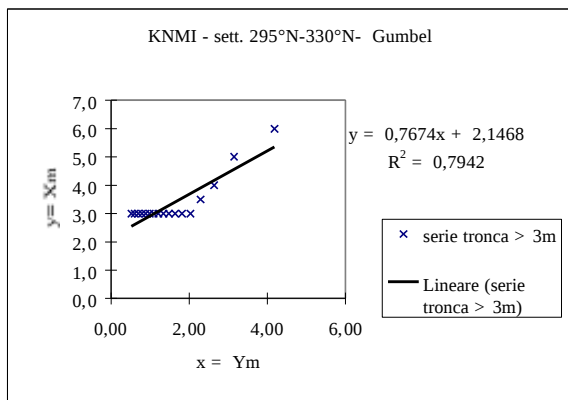


Figura 4.2.1 – Stima dei parametri della distribuzione di probabilità dei valori estremi con il metodo dei minimi quadrati sui dati del K.N.M.I. “Settore italiano”, settore di provenienza: 295°N-330°N

Tabella 4.2.2 – Elaborazione delle onde estreme con il metodo P.O.T. - Dati del K.N.M.I. “Settore italiano”, settore di provenienza: 295°N-330°N

NT = 37 media= 3,382 s.q.m.r. = 0,857 k(anni oss.) = 35 $\lambda = 1,057$ N= 17 $\nu = 0,459$																					
	A = B = R = - $\alpha \cdot \ln v$	Gumbel				Weibull (0,75)				Weibull (1,00)				Weibull (1,40)				Weibull (2,00)			
		0,7674				0,4819				0,8378				1,4237				2,3052			
		2,1468				2,2917				1,9072				1,309				0,4269			
		0,8912				0,9369				0,9088				0,8778				0,8510			
		0,6999				2,0998				0,7777				0,3889				0,2722			
			yT	H	Hcorr	$\sigma(H)$	yT	H	Hcorr	$\sigma(H)$	yT	H	Hcorr	$\sigma(H)$	yT	H	Hcorr	$\sigma(H)$	yT	H	Hcorr
T =	5	1,6	3,3	3,4	0,3	2,0	3,2	3,2	0,2	1,7	3,3	3,3	0,3	1,4	3,4	3,4	0,3	1,3	3,4	3,5	0,4
T =	10	2,3	3,9	4,1	0,4	3,1	3,8	3,8	0,3	2,4	3,9	3,9	0,4	1,8	3,9	4,0	0,4	1,5	4,0	4,3	0,5
T =	20	3,0	4,5	4,7	0,6	4,4	4,4	4,3	0,4	3,1	4,5	4,5	0,5	2,2	4,5	4,6	0,6	1,7	4,5	5,0	0,7
T =	50	4,0	5,2	5,5	0,9	6,3	5,3	5,1	0,7	4,0	5,2	5,3	0,8	2,7	5,1	5,4	0,9	2,0	5,0	5,9	1,0
T =	100	4,7	5,7	6,0	1,1	7,8	6,0	5,7	0,9	4,7	5,8	5,8	1,0	3,0	5,6	6,0	1,1	2,2	5,4	6,6	1,3
$\alpha = 0,900$ $p = 1,6$ $b1 = 0,46$ $b2 = 0,14$ $Nc = 50$ $As = 0,4907$ $\alpha = 2,700$ $p = 1,2$ $b1 = 0,41$ $b2 = 0,22$ $Nc = 20$ $As = 0,4111$ $\alpha = 1,000$ $p = 1,7$ $b1 = 0,38$ $b2 = 0,17$ $Nc = 20$ $As = 0,3808$ $\alpha = 0,500$ $p = 2,3$ $b1 = 0,46$ $b2 = 0,09$ $Nc = 20$ $As = 0,4604$ $\alpha = 0,350$ $p = 3,2$ $b1 = 0,56$ $b2 = 0,2$ $Nc = 100$ $As = 0,6784$																					

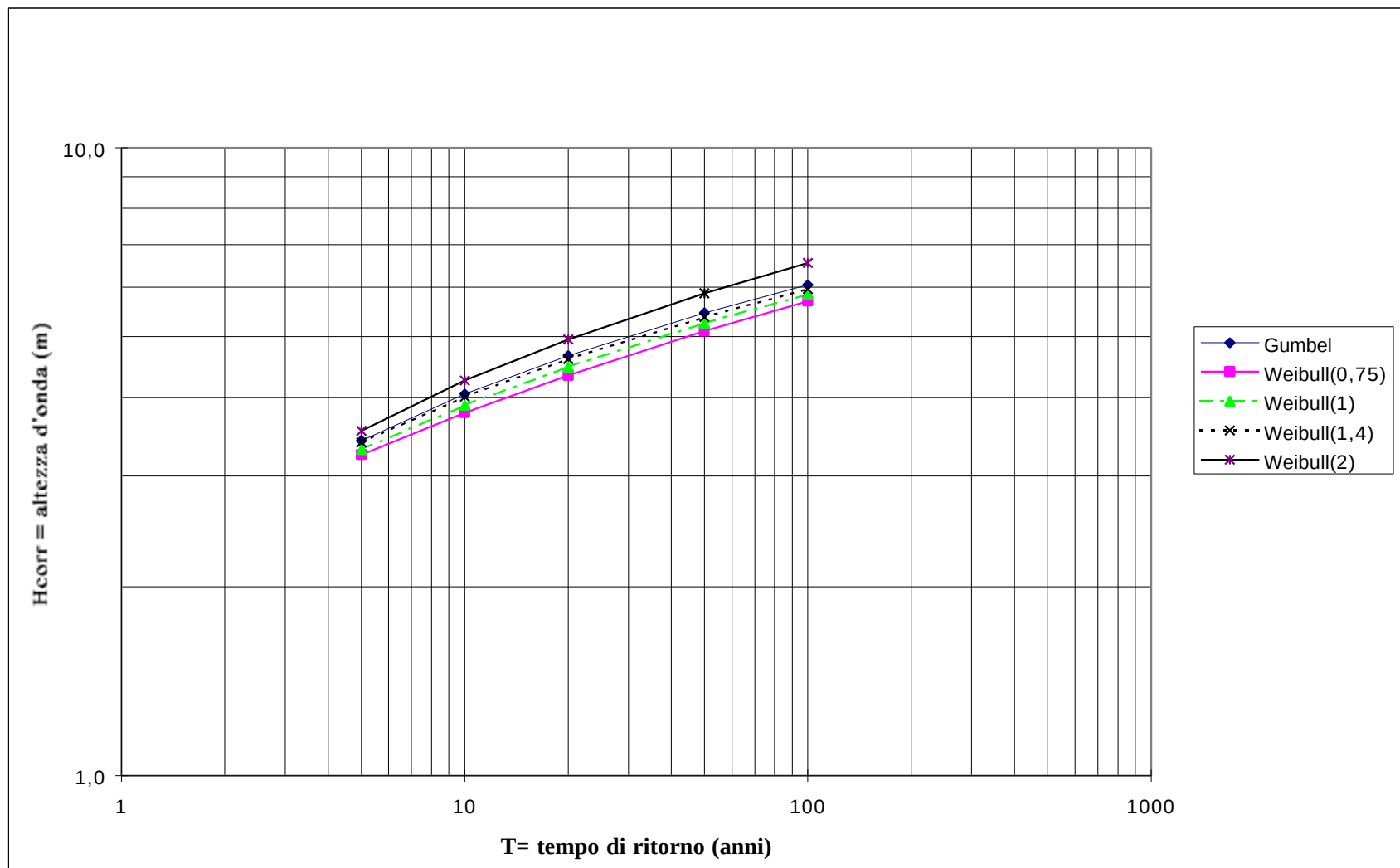


Figura 4.2.2 – Andamento grafico ($H_{corretta}$ -tempo di ritorno) per le cinque leggi di distribuzione probabilistica esaminate - Dati del K.N.M.I. “Settore italiano”, settore di provenienza: 295°N-330°N

Tabella 4.2.3 – Analisi delle onde estreme dei dati del K.N.M.I. “Settore italiano” – Settore di provenienza 330°N-75°N

m	xm	Gumbel		Weibull (0,75)		Weibull (1,00)		Weibull (1,40)		Weibull (2,00)	
		FT	ym	FT	ym	FT	ym	FT	ym	FT	ym
1	7,0	0,9952	5,33	0,9958	9,65	0,9954	5,39	0,9951	3,30	0,9948	2,29
2	6,0	0,9866	4,30	0,9872	7,12	0,9869	4,33	0,9865	2,84	0,9862	2,07
3	5,5	0,9780	3,80	0,9786	6,03	0,9783	3,83	0,9779	2,60	0,9776	1,95
4	5,0	0,9693	3,47	0,9700	5,33	0,9697	3,50	0,9693	2,44	0,9690	1,86
5	5,0	0,9607	3,22	0,9615	4,83	0,9611	3,25	0,9607	2,31	0,9604	1,80
6	5,0	0,9521	3,01	0,9529	4,43	0,9525	3,05	0,9521	2,21	0,9518	1,74
7	5,0	0,9435	2,84	0,9443	4,11	0,9439	2,88	0,9435	2,13	0,9432	1,69
8	5,0	0,9349	2,70	0,9357	3,84	0,9353	2,74	0,9349	2,05	0,9346	1,65
9	4,5	0,9263	2,57	0,9271	3,61	0,9267	2,61	0,9264	1,98	0,9260	1,61
10	4,0	0,9177	2,45	0,9185	3,41	0,9181	2,50	0,9178	1,92	0,9174	1,58
11	4,0	0,9091	2,35	0,9099	3,23	0,9096	2,40	0,9092	1,87	0,9088	1,55
12	4,0	0,9004	2,26	0,9014	3,06	0,9010	2,31	0,9006	1,82	0,9002	1,52
13	4,0	0,8918	2,17	0,8928	2,92	0,8924	2,23	0,8920	1,77	0,8916	1,49
14	4,0	0,8832	2,09	0,8842	2,78	0,8838	2,15	0,8834	1,73	0,8830	1,46
15	4,0	0,8746	2,01	0,8756	2,66	0,8752	2,08	0,8748	1,69	0,8745	1,44
16	4,0	0,8660	1,94	0,8670	2,55	0,8666	2,01	0,8662	1,65	0,8659	1,42
17	4,0	0,8574	1,87	0,8584	2,44	0,8580	1,95	0,8576	1,61	0,8573	1,40
18	4,0	0,8488	1,81	0,8498	2,35	0,8494	1,89	0,8490	1,58	0,8487	1,37
19	3,5	0,8402	1,75	0,8413	2,26	0,8408	1,84	0,8404	1,54	0,8401	1,35
20	3,5	0,8316	1,69	0,8327	2,17	0,8323	1,79	0,8318	1,51	0,8315	1,33
21	3,5	0,8229	1,64	0,8241	2,09	0,8237	1,74	0,8233	1,48	0,8229	1,32
22	3,5	0,8143	1,58	0,8155	2,01	0,8151	1,69	0,8147	1,45	0,8143	1,30
23	3,5	0,8057	1,53	0,8069	1,94	0,8065	1,64	0,8061	1,42	0,8057	1,28
24	3,5	0,7971	1,48	0,7983	1,87	0,7979	1,60	0,7975	1,40	0,7971	1,26
25	3,5	0,7885	1,44	0,7897	1,81	0,7893	1,56	0,7889	1,37	0,7885	1,25
26	3,5	0,7799	1,39	0,7812	1,75	0,7807	1,52	0,7803	1,35	0,7799	1,23
27	3,5	0,7713	1,35	0,7726	1,69	0,7721	1,48	0,7717	1,32	0,7713	1,21
28	3,5	0,7627	1,31	0,7640	1,63	0,7635	1,44	0,7631	1,30	0,7627	1,20
29	3,5	0,7540	1,26	0,7554	1,58	0,7550	1,41	0,7545	1,27	0,7541	1,18
30	3,5	0,7454	1,22	0,7468	1,53	0,7464	1,37	0,7459	1,25	0,7455	1,17
31	3,5	0,7368	1,19	0,7382	1,48	0,7378	1,34	0,7373	1,23	0,7370	1,16
32	3,0	0,7282	1,15	0,7296	1,43	0,7292	1,31	0,7288	1,21	0,7284	1,14
33	3,0	0,7196	1,11	0,7210	1,39	0,7206	1,28	0,7202	1,19	0,7198	1,13
34	3,0	0,7110	1,08	0,7125	1,34	0,7120	1,24	0,7116	1,17	0,7112	1,11
35	3,0	0,7024	1,04	0,7039	1,30	0,7034	1,22	0,7030	1,15	0,7026	1,10
36	3,0	0,6938	1,01	0,6953	1,26	0,6948	1,19	0,6944	1,13	0,6940	1,09
37	3,0	0,6852	0,97	0,6867	1,22	0,6862	1,16	0,6858	1,11	0,6854	1,08
38	3,0	0,6765	0,94	0,6781	1,18	0,6777	1,13	0,6772	1,09	0,6768	1,06
39	3,0	0,6679	0,91	0,6695	1,15	0,6691	1,11	0,6686	1,07	0,6682	1,05
40	3,0	0,6593	0,88	0,6609	1,11	0,6605	1,08	0,6600	1,06	0,6596	1,04

continua...

continua tabella 4.2.3

41	3,0	0,6507	0,84	0,6524	1,08	0,6519	1,06	0,6514	1,04	0,6510	1,03
42	3,0	0,6421	0,81	0,6438	1,04	0,6433	1,03	0,6428	1,02	0,6424	1,01
43	3,0	0,6335	0,78	0,6352	1,01	0,6347	1,01	0,6342	1,00	0,6338	1,00
44	3,0	0,6249	0,75	0,6266	0,98	0,6261	0,98	0,6257	0,99	0,6252	0,99
45	3,0	0,6163	0,73	0,6180	0,95	0,6175	0,96	0,6171	0,97	0,6166	0,98
46	3,0	0,6076	0,70	0,6094	0,92	0,6089	0,94	0,6085	0,96	0,6080	0,97
47	3,0	0,5990	0,67	0,6008	0,89	0,6004	0,92	0,5999	0,94	0,5994	0,96
48	3,0	0,5904	0,64	0,5923	0,87	0,5918	0,90	0,5913	0,92	0,5909	0,95
49	3,0	0,5818	0,61	0,5837	0,84	0,5832	0,88	0,5827	0,91	0,5823	0,93
50	3,0	0,5732	0,59	0,5751	0,81	0,5746	0,85	0,5741	0,89	0,5737	0,92
51	3,0	0,5646	0,56	0,5665	0,79	0,5660	0,83	0,5655	0,88	0,5651	0,91
52	3,0	0,5560	0,53	0,5579	0,76	0,5574	0,82	0,5569	0,86	0,5565	0,90
53	3,0	0,5474	0,51	0,5493	0,74	0,5488	0,80	0,5483	0,85	0,5479	0,89
54	3,0	0,5388	0,48	0,5407	0,72	0,5402	0,78	0,5397	0,83	0,5393	0,88
55	3,0	0,5301	0,45	0,5322	0,69	0,5316	0,76	0,5311	0,82	0,5307	0,87
56	3,0	0,5215	0,43	0,5236	0,67	0,5231	0,74	0,5226	0,81	0,5221	0,86
57	3,0	0,5129	0,40	0,5150	0,65	0,5145	0,72	0,5140	0,79	0,5135	0,85
58	3,0	0,5043	0,38	0,5064	0,63	0,5059	0,70	0,5054	0,78	0,5049	0,84
59	3,0	0,4957	0,35	0,4978	0,61	0,4973	0,69	0,4968	0,76	0,4963	0,83
60	3,0	0,4871	0,33	0,4892	0,59	0,4887	0,67	0,4882	0,75	0,4877	0,82
61	3,0	0,4785	0,30	0,4806	0,57	0,4801	0,65	0,4796	0,74	0,4791	0,81
62	3,0	0,4699	0,28	0,4720	0,55	0,4715	0,64	0,4710	0,72	0,4705	0,80
63	3,0	0,4612	0,26	0,4635	0,53	0,4629	0,62	0,4624	0,71	0,4619	0,79
64	2,5	0,4526	0,23	0,4549	0,51	0,4544	0,61	0,4538	0,70	0,4534	0,78
65	2,5	0,4440	0,21	0,4463	0,50	0,4458	0,59	0,4452	0,69	0,4448	0,77
66	2,5	0,4354	0,18	0,4377	0,48	0,4372	0,57	0,4366	0,67	0,4362	0,76
67	2,5	0,4268	0,16	0,4291	0,46	0,4286	0,56	0,4280	0,66	0,4276	0,75
68	2,5	0,4182	0,14	0,4205	0,45	0,4200	0,54	0,4195	0,65	0,4190	0,74
69	2,5	0,4096	0,11	0,4119	0,43	0,4114	0,53	0,4109	0,63	0,4104	0,73
70	2,5	0,4010	0,09	0,4034	0,41	0,4028	0,52	0,4023	0,62	0,4018	0,72
71	2,5	0,3924	0,07	0,3948	0,40	0,3942	0,50	0,3937	0,61	0,3932	0,71
72	2,5	0,3837	0,04	0,3862	0,38	0,3856	0,49	0,3851	0,60	0,3846	0,70
73	2,5	0,3751	0,02	0,3776	0,37	0,3771	0,47	0,3765	0,59	0,3760	0,69
74	2,5	0,3665	0,00	0,3690	0,36	0,3685	0,46	0,3679	0,57	0,3674	0,68
75	2,5	0,3579	-0,03	0,3604	0,34	0,3599	0,45	0,3593	0,56	0,3588	0,67
76	2,5	0,3493	-0,05	0,3518	0,33	0,3513	0,43	0,3507	0,55	0,3502	0,66
77	2,5	0,3407	-0,07	0,3433	0,31	0,3427	0,42	0,3421	0,54	0,3416	0,65
78	2,5	0,3321	-0,10	0,3347	0,30	0,3341	0,41	0,3335	0,53	0,3330	0,64
79	2,5	0,3235	-0,12	0,3261	0,29	0,3255	0,39	0,3250	0,51	0,3244	0,63
80	2,5	0,3148	-0,14	0,3175	0,28	0,3169	0,38	0,3164	0,50	0,3159	0,62
81	2,5	0,3062	-0,17	0,3089	0,27	0,3083	0,37	0,3078	0,49	0,3073	0,61
82	2,5	0,2976	-0,19	0,3003	0,25	0,2998	0,36	0,2992	0,48	0,2987	0,60
83	2,5	0,2890	-0,22	0,2917	0,24	0,2912	0,34	0,2906	0,47	0,2901	0,59
84	2,5	0,2804	-0,24	0,2832	0,23	0,2826	0,33	0,2820	0,45	0,2815	0,57
85	2,5	0,2718	-0,26	0,2746	0,22	0,2740	0,32	0,2734	0,44	0,2729	0,56
86	2,5	0,2632	-0,29	0,2660	0,21	0,2654	0,31	0,2648	0,43	0,2643	0,55
87	2,5	0,2546	-0,31	0,2574	0,20	0,2568	0,30	0,2562	0,42	0,2557	0,54
88	2,5	0,2460	-0,34	0,2488	0,19	0,2482	0,29	0,2476	0,41	0,2471	0,53

continua....

continua tabella 4.2.3

89	2,5	0,2373	-0,36	0,2402	0,18	0,2396	0,27	0,2390	0,40	0,2385	0,52
90	2,5	0,2287	-0,39	0,2316	0,17	0,2310	0,26	0,2304	0,38	0,2299	0,51
91	2,5	0,2201	-0,41	0,2230	0,16	0,2225	0,25	0,2219	0,37	0,2213	0,50
92	2,5	0,2115	-0,44	0,2145	0,15	0,2139	0,24	0,2133	0,36	0,2127	0,49
93	2,5	0,2029	-0,47	0,2059	0,14	0,2053	0,23	0,2047	0,35	0,2041	0,48
94	2,5	0,1943	-0,49	0,1973	0,13	0,1967	0,22	0,1961	0,34	0,1955	0,47
95	2,5	0,1857	-0,52	0,1887	0,12	0,1881	0,21	0,1875	0,33	0,1869	0,45
96	2,5	0,1771	-0,55	0,1801	0,12	0,1795	0,20	0,1789	0,31	0,1784	0,44
97	2,5	0,1684	-0,58	0,1715	0,11	0,1709	0,19	0,1703	0,30	0,1698	0,43
98	2,5	0,1598	-0,61	0,1629	0,10	0,1623	0,18	0,1617	0,29	0,1612	0,42
99	2,5	0,1512	-0,64	0,1544	0,09	0,1537	0,17	0,1531	0,28	0,1526	0,41
100	2,5	0,1426	-0,67	0,1458	0,09	0,1452	0,16	0,1445	0,27	0,1440	0,39
101	2,5	0,1340	-0,70	0,1372	0,08	0,1366	0,15	0,1359	0,25	0,1354	0,38
102	2,5	0,1254	-0,73	0,1286	0,07	0,1280	0,14	0,1273	0,24	0,1268	0,37
103	2,5	0,1168	-0,76	0,1200	0,06	0,1194	0,13	0,1188	0,23	0,1182	0,35
104	2,5	0,1082	-0,80	0,1114	0,06	0,1108	0,12	0,1102	0,22	0,1096	0,34
105	2,5	0,0996	-0,84	0,1028	0,05	0,1022	0,11	0,1016	0,20	0,1010	0,33
106	2,5	0,0909	-0,87	0,0943	0,05	0,0936	0,10	0,0930	0,19	0,0924	0,31
107	2,5	0,0823	-0,92	0,0857	0,04	0,0850	0,09	0,0844	0,18	0,0838	0,30
108	2,5	0,0737	-0,96	0,0771	0,03	0,0764	0,08	0,0758	0,16	0,0752	0,28
109	2,5	0,0651	-1,00	0,0685	0,03	0,0679	0,07	0,0672	0,15	0,0666	0,26
110	2,5	0,0565	-1,06	0,0599	0,02	0,0593	0,06	0,0586	0,13	0,0580	0,24
111	2,5	0,0479	-1,11	0,0513	0,02	0,0507	0,05	0,0500	0,12	0,0494	0,23
112	2,5	0,0393	-1,17	0,0427	0,02	0,0421	0,04	0,0414	0,10	0,0409	0,20
113	2,5	0,0307	-1,25	0,0342	0,01	0,0335	0,03	0,0328	0,09	0,0323	0,18
114	2,5	0,0220	-1,34	0,0256	0,01	0,0249	0,03	0,0243	0,07	0,0237	0,15
115	2,5	0,0134	-1,46	0,0170	0,00	0,0163	0,02	0,0157	0,05	0,0151	0,12
116	2,5	0,0048	-1,67	0,0084	0,00	0,0077	0,01	0,0071	0,03	0,0065	0,08

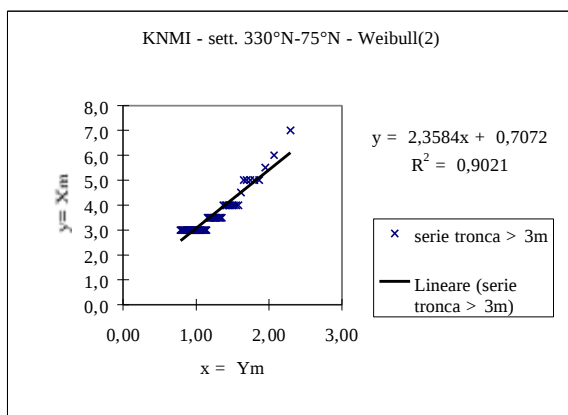
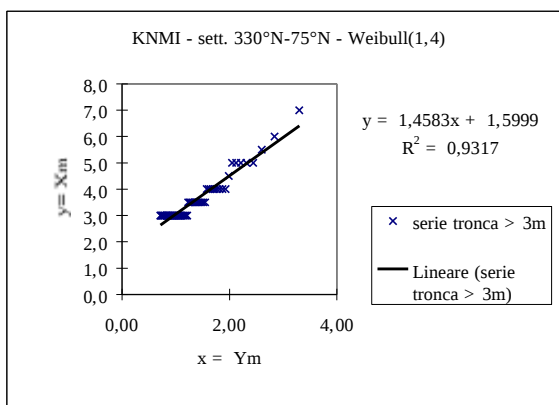
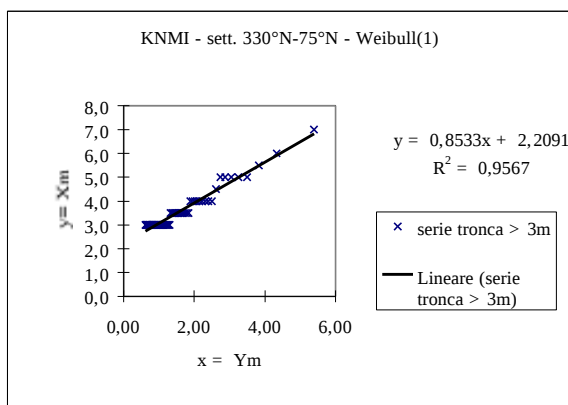
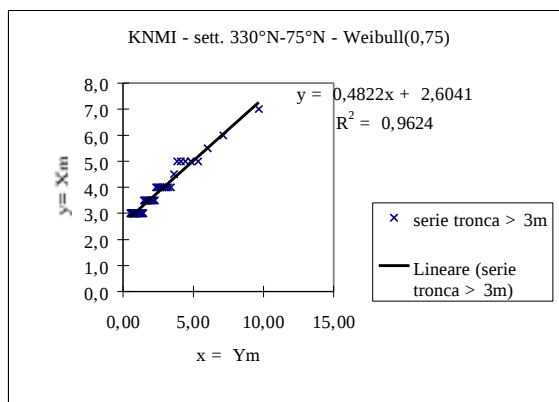
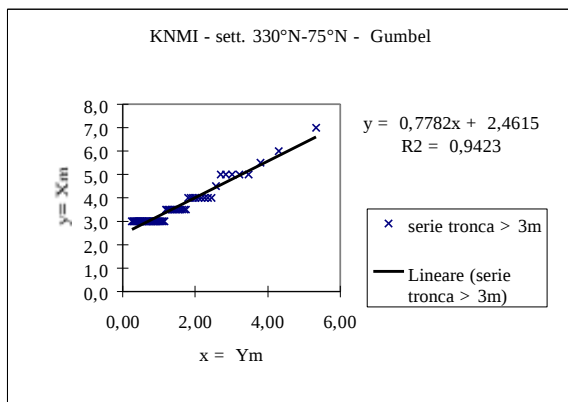


Figura 4.2.3 – Stima dei parametri della distribuzione di probabilità dei valori estremi con il metodo dei minimi quadrati – Dati del K.N.M.I. “Settore italiano”, settore di provenienza: 330°N-75°N

Tabella 4.2.4 – Elaborazione delle onde estreme con il metodo P.O.T. - Dati del K.N.M.I. “Settore italiano”, settore di provenienza: 330°N-75°N

NT = 116 media = 3,579 s.q.m.c. = 0,848 k(anni oss.) = 35 $\lambda = 3,314$ N = 63 v = 0,543																					
	A = B = R = -α*lev	Gumbel				Weibull (0,75)				Weibull (1,00)				Weibull (1,40)				Weibull (2,00)			
		0,7782				0,4822				0,8533				1,4583				2,3584			
		2,4615				2,6041				2,2091				1,5999				0,7072			
		0,9707				0,9810				0,9781				0,9652				0,9498			
		0,5494				1,6482				0,6105				0,3052				0,2137			
		yT	H	Hcorr	α(H)	yT	H	Hcorr	α(H)	yT	H	Hcorr	α(H)	yT	H	Hcorr	α(H)	yT	H	Hcorr	α(H)
T =	5	2,8	4,6	4,6	0,3	4,0	4,5	4,5	0,2	2,8	4,6	4,6	0,3	2,1	4,6	4,7	0,3	1,7	4,7	4,9	0,3
T =	10	3,5	5,2	5,2	0,4	5,3	5,2	5,0	0,3	3,5	5,2	5,2	0,4	2,4	5,2	5,3	0,4	1,9	5,1	5,5	0,4
T =	20	4,2	5,7	5,7	0,5	6,8	5,9	5,6	0,5	4,2	5,8	5,8	0,5	2,8	5,7	5,8	0,5	2,0	5,5	6,1	0,5
T =	50	5,1	6,4	6,4	0,7	8,8	6,8	6,5	0,6	5,1	6,6	6,6	0,7	3,2	6,3	6,6	0,7	2,3	6,0	6,8	0,7
T =	100	5,8	7,0	7,0	0,8	10,4	7,6	7,1	0,8	5,8	7,2	7,2	0,8	3,5	6,7	7,1	0,9	2,4	6,4	7,4	0,9
α = 0,900 p = 1,6 b1 = 0,46 b2 = 0,14 Nc = 50 As = 0,4614 α = 2,700 p = 1,2 b1 = 0,41 b2 = 0,22 Nc = 20 As = 0,4646 α = 1,000 p = 1,7 b1 = 0,38 b2 = 0,17 Nc = 20 As = 0,4222 α = 0,500 p = 2,3 b1 = 0,46 b2 = 0,09 Nc = 20 As = 0,4823 α = 0,350 p = 3,2 b1 = 0,56 b2 = 0,2 Nc = 100 As = 0,5681																					

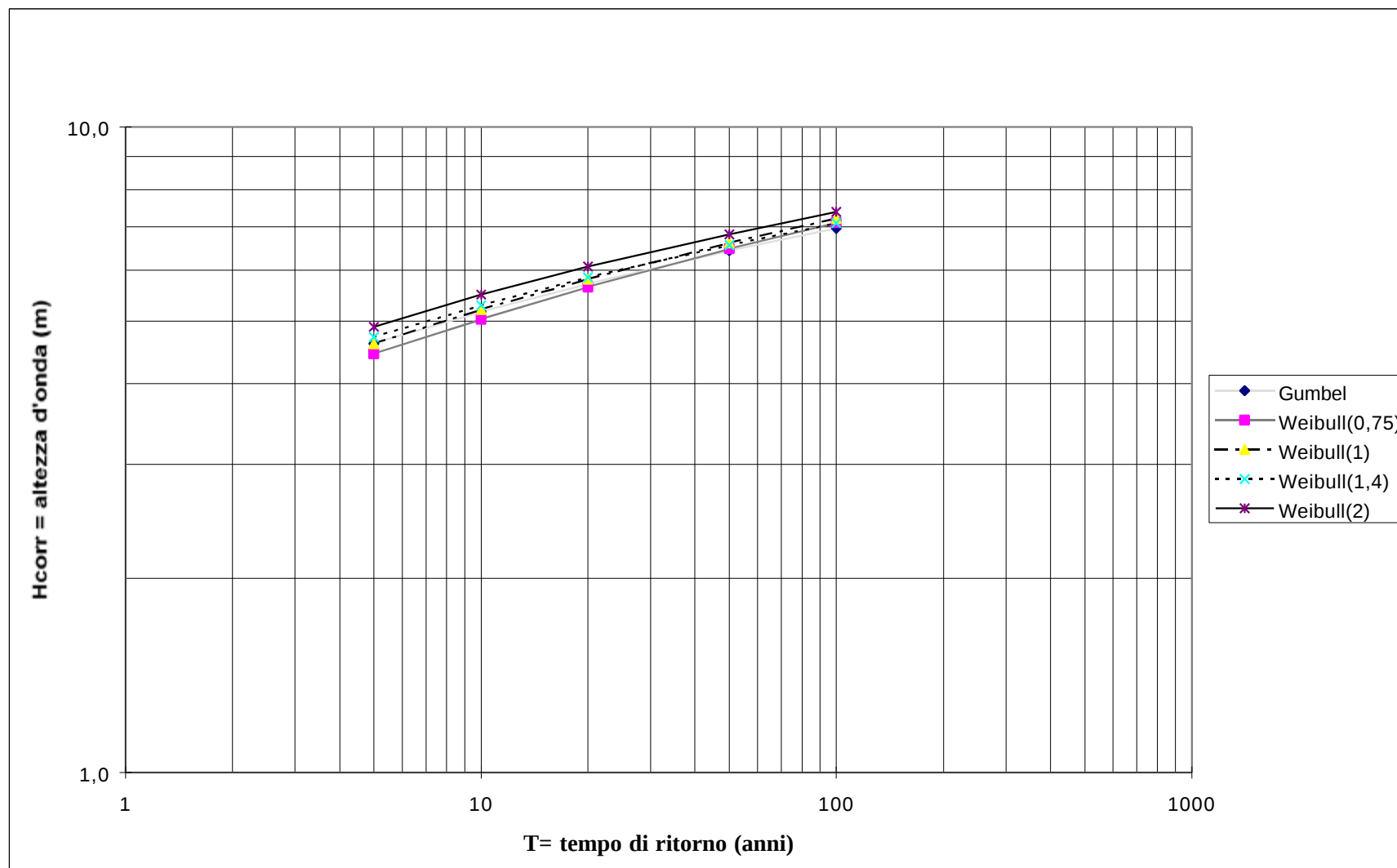


Figura 4.2.4 – Andamento grafico ($H_{corretta}$ -tempo di ritorno) per le cinque leggi di distribuzione probabilistica esaminate - Dati del K.N.M.I. “Settore italiano”, settore di provenienza: 330°N-75°N

Tabella 4.2.5 – Analisi delle onde estreme dei dati del K.N.M.I. “Settore italiano” – Settore di provenienza 75°N-110°N

m	xm	Gumbel		Weibull (0,75)		Weibull (1,00)		Weibull (1,40)		Weibull (2,00)	
		FT	ym	FT	ym	FT	ym	FT	ym	FT	ym
1	5,0	0,9814	3,98	0,9840	6,63	0,9826	4,05	0,9812	2,68	0,9799	1,98
2	5,0	0,9482	2,93	0,9512	4,36	0,9497	2,99	0,9483	2,17	0,9470	1,71
3	4,0	0,9150	2,42	0,9183	3,40	0,9169	2,49	0,9154	1,91	0,9141	1,57
4	4,0	0,8818	2,07	0,8855	2,80	0,8840	2,15	0,8825	1,72	0,8811	1,46
5	3,5	0,8486	1,81	0,8527	2,38	0,8511	1,90	0,8496	1,58	0,8482	1,37
6	3,5	0,8154	1,59	0,8199	2,05	0,8183	1,71	0,8167	1,46	0,8153	1,30
7	3,5	0,7822	1,40	0,7870	1,79	0,7854	1,54	0,7838	1,36	0,7823	1,23
8	3,5	0,7490	1,24	0,7542	1,57	0,7525	1,40	0,7509	1,27	0,7494	1,18
9	3,5	0,7158	1,10	0,7214	1,39	0,7197	1,27	0,7180	1,18	0,7165	1,12
10	3,5	0,6826	0,96	0,6886	1,23	0,6868	1,16	0,6851	1,11	0,6835	1,07
11	3,5	0,6494	0,84	0,6557	1,09	0,6540	1,06	0,6522	1,04	0,6506	1,03
12	3,5	0,6162	0,73	0,6229	0,97	0,6211	0,97	0,6193	0,98	0,6177	0,98
13	3,0	0,5830	0,62	0,5901	0,86	0,5882	0,89	0,5864	0,91	0,5847	0,94
14	3,0	0,5498	0,51	0,5573	0,76	0,5554	0,81	0,5535	0,86	0,5518	0,90
15	3,0	0,5166	0,41	0,5244	0,67	0,5225	0,74	0,5206	0,80	0,5188	0,86
16	3,0	0,4834	0,32	0,4916	0,59	0,4896	0,67	0,4877	0,75	0,4859	0,82
17	3,0	0,4502	0,23	0,4588	0,52	0,4568	0,61	0,4548	0,70	0,4530	0,78
18	2,5	0,4170	0,13	0,4260	0,46	0,4239	0,55	0,4219	0,65	0,4200	0,74
19	2,5	0,3838	0,04	0,3931	0,40	0,3911	0,50	0,3890	0,60	0,3871	0,70
20	2,5	0,3506	-0,05	0,3603	0,34	0,3582	0,44	0,3561	0,56	0,3542	0,66
21	2,5	0,3174	-0,14	0,3275	0,29	0,3253	0,39	0,3232	0,51	0,3212	0,62
22	2,5	0,2842	-0,23	0,2947	0,25	0,2925	0,35	0,2903	0,47	0,2883	0,58
23	2,5	0,2510	-0,32	0,2618	0,20	0,2596	0,30	0,2574	0,42	0,2554	0,54
24	2,5	0,2178	-0,42	0,2290	0,17	0,2267	0,26	0,2245	0,38	0,2224	0,50
25	2,5	0,1846	-0,52	0,1962	0,13	0,1939	0,22	0,1916	0,33	0,1895	0,46
26	2,5	0,1514	-0,64	0,1634	0,10	0,1610	0,18	0,1587	0,29	0,1566	0,41
27	2,5	0,1182	-0,76	0,1306	0,07	0,1282	0,14	0,1258	0,24	0,1236	0,36
28	2,5	0,0850	-0,90	0,0977	0,05	0,0953	0,10	0,0929	0,19	0,0907	0,31
29	2,5	0,0518	-1,09	0,0649	0,03	0,0624	0,06	0,0600	0,14	0,0578	0,24
30	2,5	0,0186	-1,38	0,0321	0,01	0,0296	0,03	0,0271	0,08	0,0248	0,16

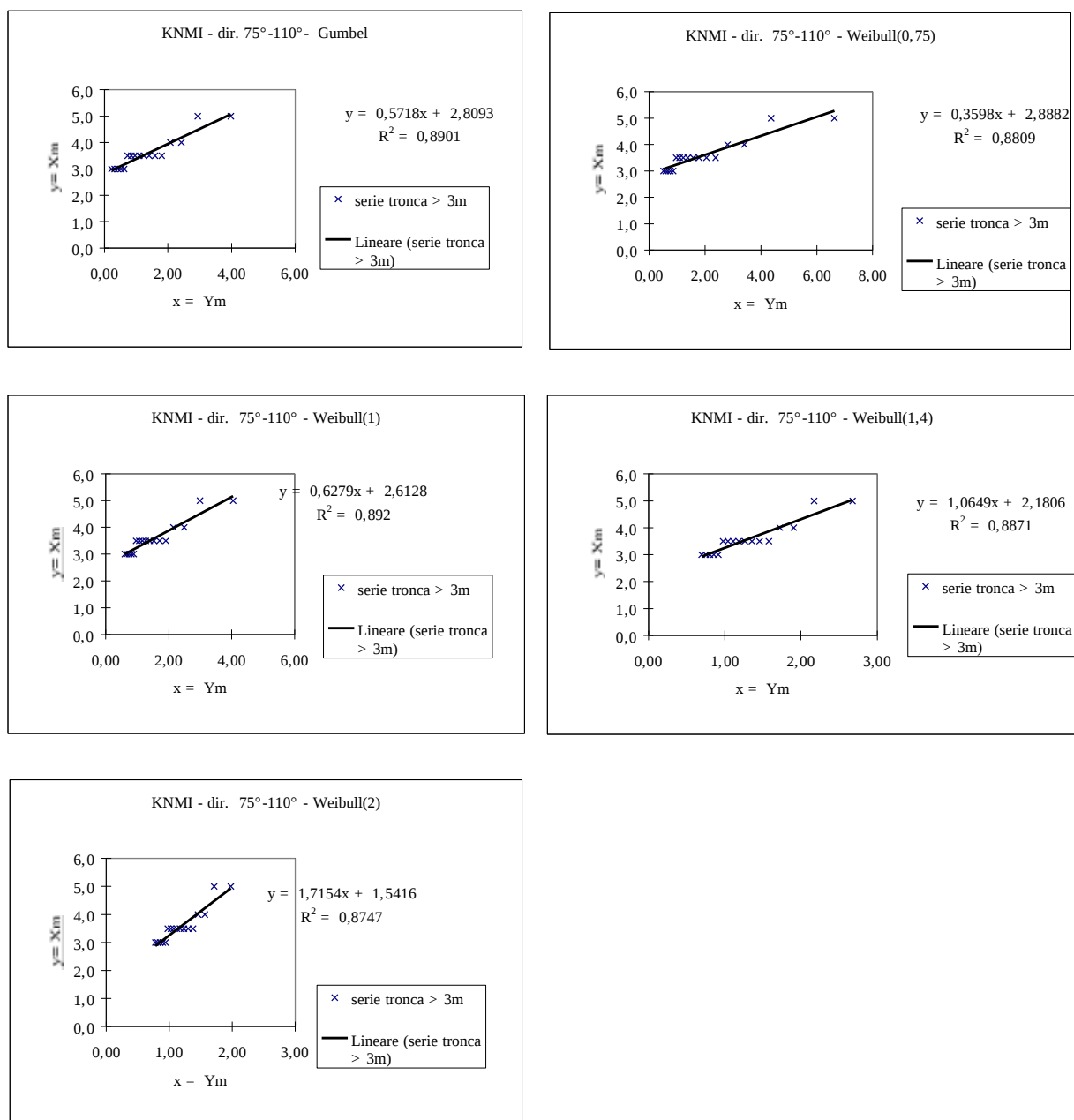


Figura 4.2.5 – Stima dei parametri della distribuzione di probabilità dei valori estremi con il metodo dei minimi quadrati – Dati del K.N.M.I. “Settore italiano”, settore di provenienza: 75°N-110°N

Tabella 4.2.6 – Elaborazione delle onde estreme con il metodo P.O.T. - Dati del K.N.M.I. “Settore italiano”, settore di provenienza: 75°N-110°N

NT = 30 media = 3,588 s.q.m.c. = 0,618 mi oss.) = 35 $\lambda = 0,857$ N = 17 $v = 0,567$																					
		Gumbel				Weibull (0,75)				Weibull (1,00)				Weibull (1,40)				Weibull (2,00)			
		A -	B -	R -	$-\alpha \ln v$	yT	H	Hcorr	$\alpha(H)$	yT	H	Hcorr	$\alpha(H)$	yT	H	Hcorr	$\alpha(H)$	yT	H	Hcorr	$\alpha(H)$
		0,5718	2,8093	0,9435	0,5112	0,3598	2,8882	0,9386	1,5336	0,6279	2,6128	0,9445	0,5680	1,0649	2,1806	0,9419	0,2840	1,7154	1,5416	0,9353	0,1988
T =	5	1,3	3,6	3,6	0,2	1,6	3,5	3,5	0,2	1,5	3,5	3,5	0,2	1,3	3,6	3,6	0,2	1,2	3,6	3,7	0,3
T =	10	2,1	4,0	4,1	0,3	2,8	3,9	3,9	0,2	2,1	4,0	4,0	0,3	1,7	4,0	4,1	0,3	1,5	4,1	4,3	0,4
T =	20	2,8	4,4	4,6	0,4	4,0	4,3	4,3	0,3	2,8	4,4	4,4	0,4	2,1	4,4	4,5	0,4	1,7	4,4	4,8	0,5
T =	50	3,7	5,0	5,1	0,6	5,8	5,0	4,8	0,5	3,8	5,0	5,0	0,6	2,6	4,9	5,1	0,6	1,9	4,9	5,5	0,7
T =	100	4,4	5,4	5,6	0,8	7,3	5,5	5,3	0,7	4,5	5,4	5,4	0,7	2,9	5,3	5,5	0,8	2,1	5,2	6,0	1,0
		$\alpha = 0,900$				$\alpha = 2,700$				$\alpha = 1,000$				$\alpha = 0,500$				$\alpha = 0,350$			
		p = 1,6				p = 1,2				p = 1,7				p = 2,3				p = 3,2			
		b1 = 0,46				b1 = 0,41				b1 = 0,38				b1 = 0,46				b1 = 0,56			
		b2 = 0,14				b2 = 0,22				b2 = 0,17				b2 = 0,09				b2 = 0,2			
		Nc = 50				Nc = 20				Nc = 20				Nc = 20				Nc = 100			
		As = 0,4907				As = 0,4111				As = 0,3808				As = 0,4604				As = 0,6784			

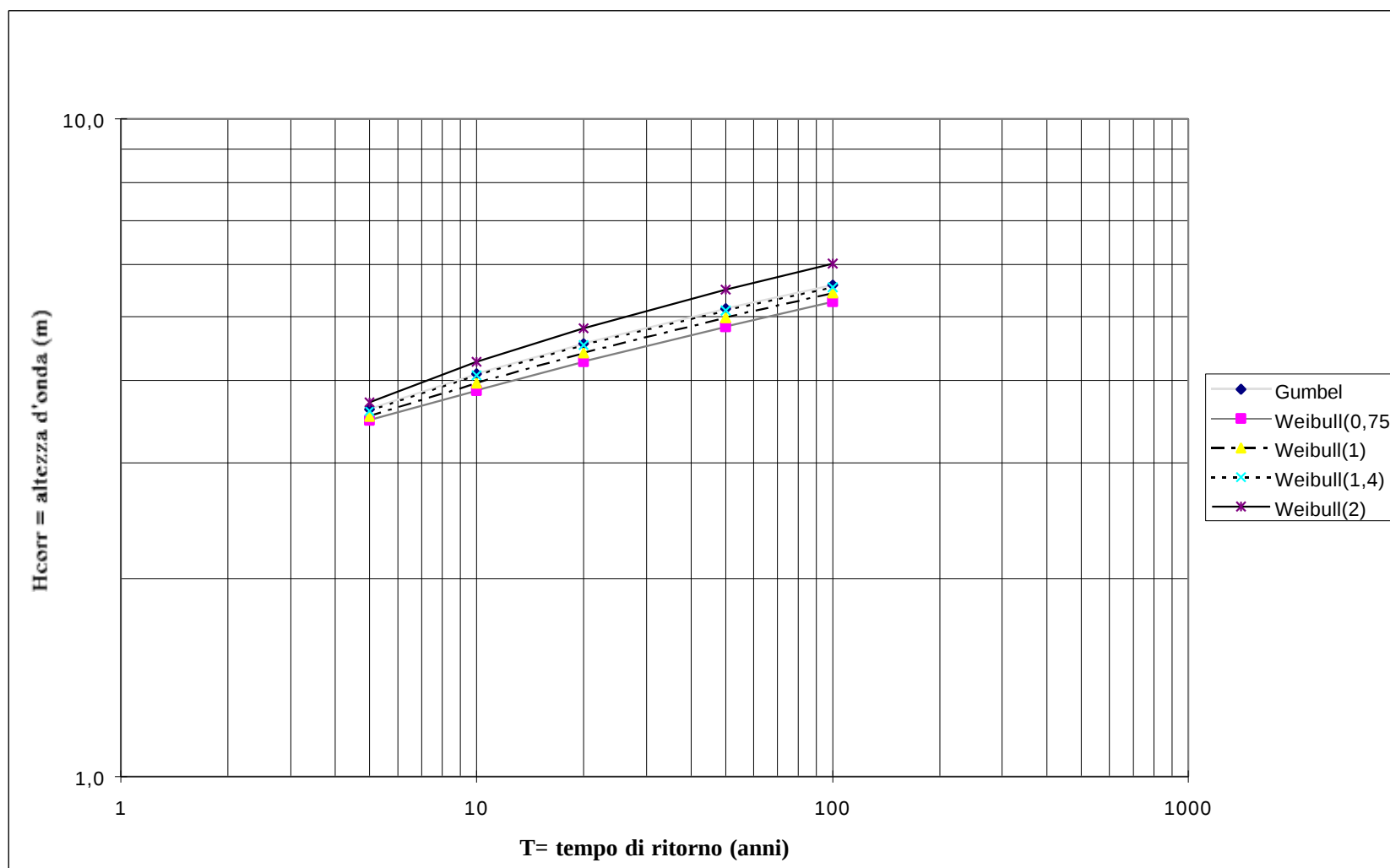


Figura 4.2.6 – Andamento grafico ($H_{corretta}$ -tempo di ritorno) per le cinque leggi di distribuzione probabilistica esaminate - Dati del K.N.M.I. “Settore italiano”, settore di provenienza: 75°N-110°N

Tabella 4.2.7 – Analisi delle onde estreme dei dati del K.N.M.I. “Settore italiano” – Settore di provenienza 110°N-150°N

m	xm	Gumbel		Weibull (0,75)		Weibull (1,00)		Weibull (1,40)		Weibull (2,00)	
		FT	ym	FT	ym	FT	ym	FT	ym	FT	ym
1	6,0	0,9913	4,74	0,9924	8,28	0,9918	4,80	0,9911	3,03	0,9905	2,16
2	6,0	0,9757	3,70	0,9769	5,86	0,9763	3,74	0,9756	2,55	0,9750	1,92
3	5,5	0,9601	3,20	0,9614	4,82	0,9607	3,24	0,9601	2,31	0,9595	1,79
4	5,0	0,9445	2,86	0,9459	4,17	0,9452	2,90	0,9445	2,14	0,9439	1,70
5	4,5	0,9289	2,61	0,9304	3,69	0,9297	2,65	0,9290	2,00	0,9284	1,62
6	4,0	0,9133	2,40	0,9149	3,33	0,9142	2,46	0,9135	1,90	0,9129	1,56
7	4,0	0,8977	2,23	0,8994	3,03	0,8986	2,29	0,8979	1,80	0,8973	1,51
8	4,0	0,8821	2,08	0,8838	2,78	0,8831	2,15	0,8824	1,72	0,8818	1,46
9	4,0	0,8665	1,94	0,8683	2,57	0,8676	2,02	0,8669	1,65	0,8662	1,42
10	4,0	0,8509	1,82	0,8528	2,38	0,8521	1,91	0,8514	1,59	0,8507	1,38
11	4,0	0,8353	1,72	0,8373	2,22	0,8366	1,81	0,8358	1,53	0,8352	1,34
12	4,0	0,8197	1,62	0,8218	2,07	0,8210	1,72	0,8203	1,47	0,8196	1,31
13	4,0	0,8041	1,52	0,8063	1,94	0,8055	1,64	0,8048	1,42	0,8041	1,28
14	3,5	0,7885	1,44	0,7908	1,82	0,7900	1,56	0,7892	1,37	0,7886	1,25
15	3,5	0,7729	1,36	0,7753	1,71	0,7745	1,49	0,7737	1,33	0,7730	1,22
16	3,5	0,7573	1,28	0,7597	1,61	0,7590	1,42	0,7582	1,28	0,7575	1,19
17	3,5	0,7417	1,21	0,7442	1,51	0,7434	1,36	0,7427	1,24	0,7419	1,16
18	3,5	0,7261	1,14	0,7287	1,43	0,7279	1,30	0,7271	1,21	0,7264	1,14
19	3,0	0,7105	1,07	0,7132	1,35	0,7124	1,25	0,7116	1,17	0,7109	1,11
20	3,0	0,6949	1,01	0,6977	1,27	0,6969	1,19	0,6961	1,13	0,6953	1,09
21	3,0	0,6794	0,95	0,6822	1,20	0,6814	1,14	0,6805	1,10	0,6798	1,07
22	3,0	0,6638	0,89	0,6667	1,13	0,6658	1,10	0,6650	1,07	0,6643	1,04
23	3,0	0,6482	0,84	0,6512	1,07	0,6503	1,05	0,6495	1,03	0,6487	1,02
24	3,0	0,6326	0,78	0,6356	1,01	0,6348	1,01	0,6339	1,00	0,6332	1,00
25	3,0	0,6170	0,73	0,6201	0,96	0,6193	0,97	0,6184	0,97	0,6176	0,98
26	3,0	0,6014	0,68	0,6046	0,91	0,6038	0,93	0,6029	0,94	0,6021	0,96
27	3,0	0,5858	0,63	0,5891	0,86	0,5882	0,89	0,5874	0,92	0,5866	0,94
28	3,0	0,5702	0,58	0,5736	0,81	0,5727	0,85	0,5718	0,89	0,5710	0,92
29	3,0	0,5546	0,53	0,5581	0,76	0,5572	0,81	0,5563	0,86	0,5555	0,90
30	3,0	0,5390	0,48	0,5426	0,72	0,5417	0,78	0,5408	0,84	0,5400	0,88
31	3,0	0,5234	0,43	0,5271	0,68	0,5262	0,75	0,5252	0,81	0,5244	0,86
32	3,0	0,5078	0,39	0,5115	0,64	0,5106	0,71	0,5097	0,79	0,5089	0,84
33	2,5	0,4922	0,34	0,4960	0,60	0,4951	0,68	0,4942	0,76	0,4934	0,82
34	2,5	0,4766	0,30	0,4805	0,57	0,4796	0,65	0,4787	0,74	0,4778	0,81
35	2,5	0,4610	0,26	0,4650	0,53	0,4641	0,62	0,4631	0,71	0,4623	0,79
36	2,5	0,4454	0,21	0,4495	0,50	0,4485	0,60	0,4476	0,69	0,4467	0,77
37	2,5	0,4298	0,17	0,4340	0,47	0,4330	0,57	0,4321	0,67	0,4312	0,75
38	2,5	0,4142	0,13	0,4185	0,44	0,4175	0,54	0,4165	0,64	0,4157	0,73
39	2,5	0,3986	0,08	0,4030	0,41	0,4020	0,51	0,4010	0,62	0,4001	0,71
40	2,5	0,3830	0,04	0,3875	0,39	0,3865	0,49	0,3855	0,60	0,3846	0,70
41	2,5	0,3674	0,00	0,3719	0,36	0,3709	0,46	0,3699	0,58	0,3691	0,68
42	2,5	0,3518	-0,04	0,3564	0,34	0,3554	0,44	0,3544	0,55	0,3535	0,66
43	2,5	0,3362	-0,09	0,3409	0,31	0,3399	0,42	0,3389	0,53	0,3380	0,64
44	2,5	0,3206	-0,13	0,3254	0,29	0,3244	0,39	0,3234	0,51	0,3224	0,62

continua...

continua tabella 4.2.7

45	2,5	0,3051	-0,17	0,3099	0,27	0,3089	0,37	0,3078	0,49	0,3069	0,61
46	2,5	0,2895	-0,21	0,2944	0,25	0,2933	0,35	0,2923	0,47	0,2914	0,59
47	2,5	0,2739	-0,26	0,2789	0,23	0,2778	0,33	0,2768	0,45	0,2758	0,57
48	2,5	0,2583	-0,30	0,2634	0,21	0,2623	0,30	0,2612	0,43	0,2603	0,55
49	2,5	0,2427	-0,35	0,2478	0,19	0,2468	0,28	0,2457	0,40	0,2448	0,53
50	2,5	0,2271	-0,39	0,2323	0,17	0,2313	0,26	0,2302	0,38	0,2292	0,51
51	2,5	0,2115	-0,44	0,2168	0,15	0,2157	0,24	0,2147	0,36	0,2137	0,49
52	2,5	0,1959	-0,49	0,2013	0,14	0,2002	0,22	0,1991	0,34	0,1982	0,47
53	2,5	0,1803	-0,54	0,1858	0,12	0,1847	0,20	0,1836	0,32	0,1826	0,45
54	2,5	0,1647	-0,59	0,1703	0,11	0,1692	0,19	0,1681	0,30	0,1671	0,43
55	2,5	0,1491	-0,64	0,1548	0,09	0,1537	0,17	0,1525	0,28	0,1515	0,41
56	2,5	0,1335	-0,70	0,1393	0,08	0,1381	0,15	0,1370	0,25	0,1360	0,38
57	2,5	0,1179	-0,76	0,1237	0,07	0,1226	0,13	0,1215	0,23	0,1205	0,36
58	2,5	0,1023	-0,82	0,1082	0,06	0,1071	0,11	0,1059	0,21	0,1049	0,33
59	2,5	0,0867	-0,89	0,0927	0,04	0,0916	0,10	0,0904	0,19	0,0894	0,31
60	2,5	0,0711	-0,97	0,0772	0,03	0,0761	0,08	0,0749	0,16	0,0739	0,28
61	2,5	0,0555	-1,06	0,0617	0,03	0,0605	0,06	0,0594	0,14	0,0583	0,25
62	2,5	0,0399	-1,17	0,0462	0,02	0,0450	0,05	0,0438	0,11	0,0428	0,21
63	2,5	0,0243	-1,31	0,0307	0,01	0,0295	0,03	0,0283	0,08	0,0272	0,17
64	2,5	0,0087	-1,56	0,0152	0,00	0,0140	0,01	0,0128	0,04	0,0117	0,11

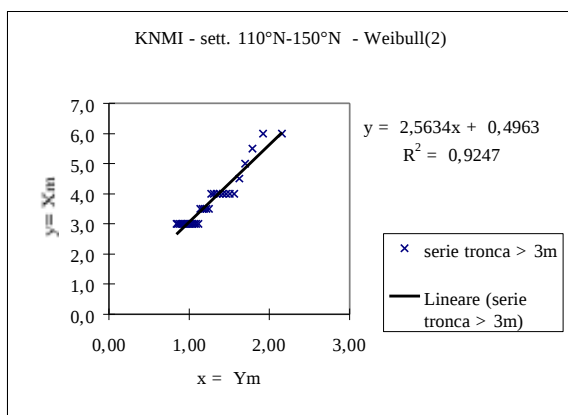
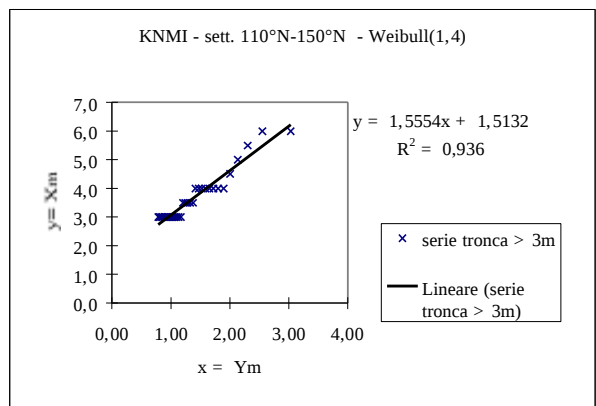
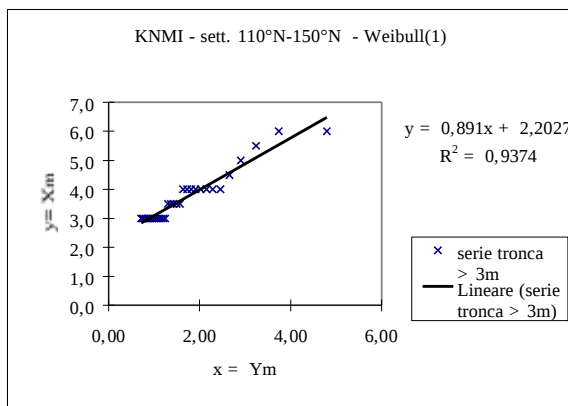
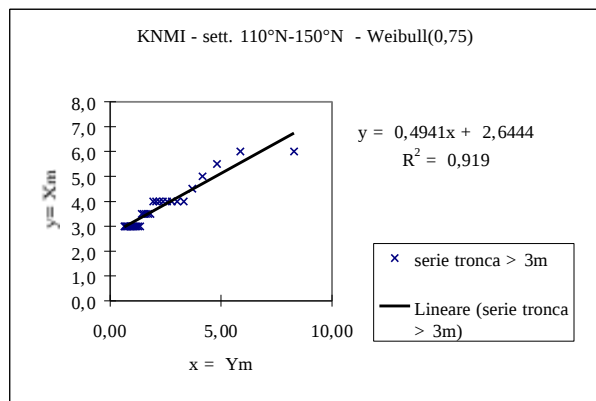
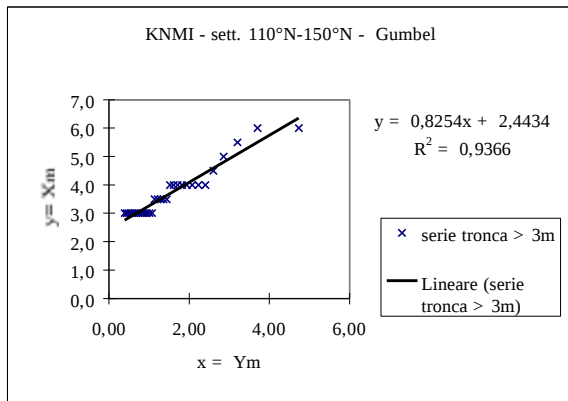


Figura 4.2.7 – Stima dei parametri della distribuzione di probabilità dei valori estremi con il metodo dei minimi quadrati – Dati del K.N.M.I. “Settore italiano”, settore di provenienza: 110°N-150°N

Tabella 4.2.8 – Elaborazione delle onde estreme con il metodo P.O.T. - Dati del K.N.M.I. “Settore italiano”, settore di provenienza: 110°N-150°N

NT = 64 media= 3,703 s.q.m.c. = 0,879 ini oss.) = 35 λ = 1,829 N= 32 v = 0.500																					
T =	A = B = R = -α*lnv	Gumbel				Weibull (0,75)				Weibull (1,00)				Weibull (1,40)				Weibull (2,00)			
		0.8254				0.4941				0.891				1.5554				2.5634			
		2.4434				2.6444				2.2027				1.5132				0.4963			
		0.9678				0.9586				0.9682				0.9675				0.9616			
		0.6238				1.8715				0.6931				0.3466				0.2426			
	yT	H	Hcorr	σ(H)	yT	H	Hcorr	σ(H)	yT	H	Hcorr	σ(H)	yT	H	Hcorr	σ(H)	yT	H	Hcorr	σ(H)	
5	2.2	4,2	4,3	0.3	2.9	4,1	4,0	0.2	2.2	4,2	4,2	0.3	1.8	4,3	4,3	0.3	1.5	4,3	4,5	0.3	
10	2.9	4,8	4,9	0.4	4.1	4,7	4,6	0.3	2.9	4,8	4,8	0.4	2.1	4,8	5,0	0.4	1.7	4,9	5,2	0.5	
20	3.6	5,4	5,5	0.6	5.5	5,4	5,2	0.5	3.6	5,4	5,4	0.5	2.5	5,4	5,6	0.6	1.9	5,4	5,9	0.6	
50	4.5	6,2	6,3	0.8	7.5	6,3	6,0	0.7	4.5	6,2	6,3	0.7	2.9	6,1	6,4	0.8	2.1	5,9	6,8	0.9	
100	5.2	6,7	6,9	1.0	9.0	7,1	6,6	0.8	5.2	6,8	6,9	0.9	3.3	6,6	7,0	1.0	2.3	6,3	7,5	1.1	
α = 0.900 p = 1.6 b1 = 0.46 b2 = 0.14 Nc = 50 As = 0.4653 α = 2.700 p = 1.2 b1 = 0.41 b2 = 0.22 Nc = 20 As = 0.4192 α = 1.000 p = 1.7 b1 = 0.38 b2 = 0.17 Nc = 20 As = 0.3871 α = 0.500 p = 2.3 b1 = 0.48 b2 = 0.09 Nc = 20 As = 0.4837 α = 0.350 p = 3.2 b1 = 0.56 b2 = 0.2 Nc = 100 As = 0.6090																					

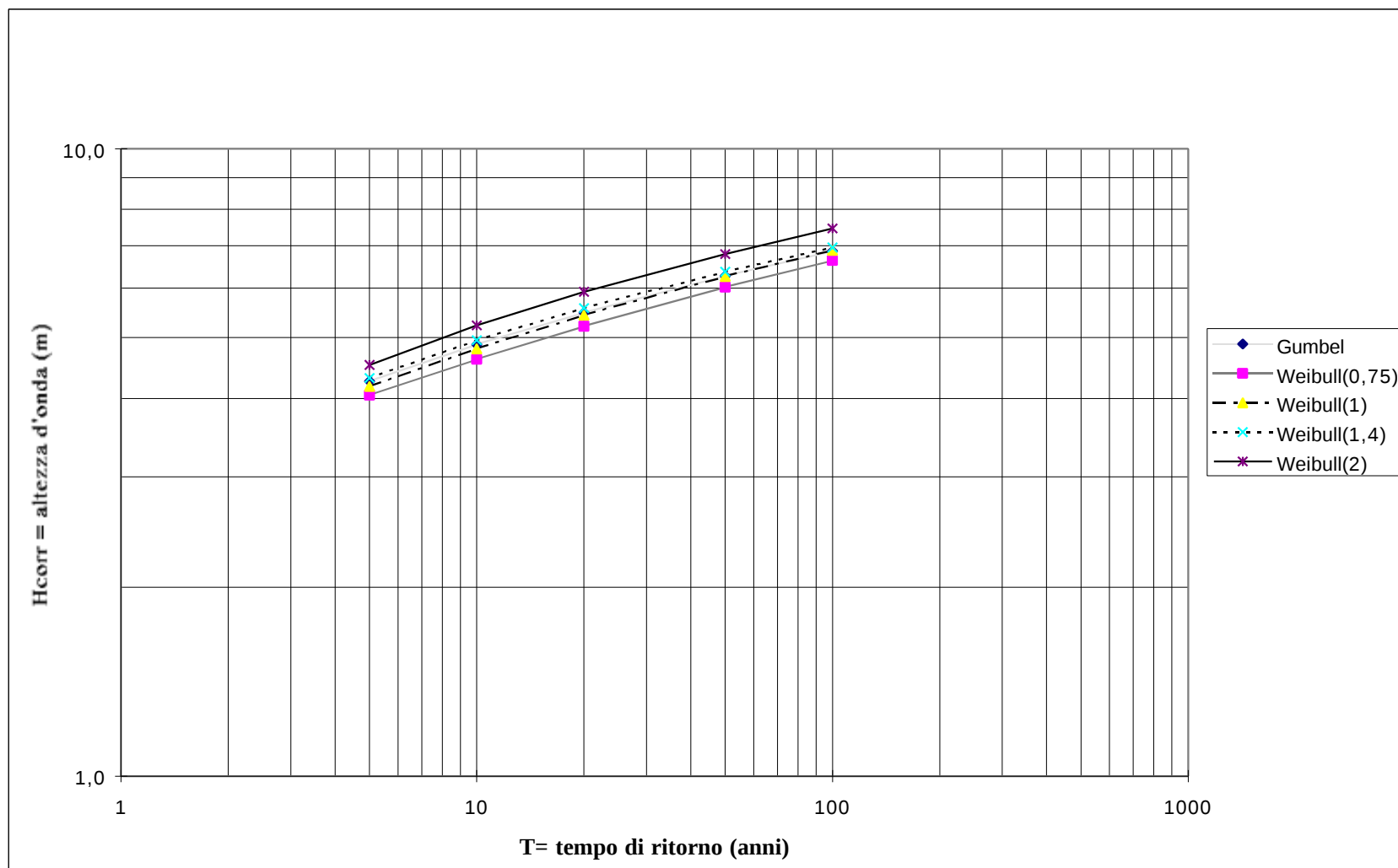


Figura 4.2.8 – Andamento grafico ($H_{corretta}$ -tempo di ritorno) per le cinque leggi di distribuzione probabilistica esaminate - Dati del K.N.M.I. “Settore italiano”, settore di provenienza: 110°N-150°N

4.2.8) Descrizione dell'elaborazione delle onde estreme della boa della R.O.N. di Pescara

In questo paragrafo si riportano i risultati dell'elaborazione statistica delle onde estreme condotta sui dati della boa ondometrica della R.O.N. funzionante al largo di Pescara-Ortona, rilevati dal luglio 1989 fino al dicembre 1995, già presentati nel paragrafo 3.3) della presente relazione. Il metodo seguito è quello consueto delle serie tronche o “di durata parziale sopra soglia” (*P.O.T.*), la cui impostazione teorica è dettagliatamente descritta nei paragrafi precedenti del presente capitolo.

Dalla serie completa delle 17729 misure di altezza d'onda significativa registrate dall'ondametro di Pescara-Ortona nel detto periodo di funzionamento, sono stati estratti i valori al culmine di mareggiate indipendenti che hanno raggiunto almeno i 2m, per non inquinare l'omogeneità dei dati campionari: da questa analisi risulta un nuovo campione di 135 valori indipendenti con $H_s > 2m$. Suddividendo questi 135 valori di H_s in base alla direzione di provenienza delle onde, secondo settori come individuati per le stesse misure da Franco (1995), si ottengono tre serie di un numero N_T di dati di altezza d'onda H_s così ripartiti:

- 325°N-15°N $N_T = 75$;
- 15°N-75°N $N_T = 44$;
- 75°N-125°N $N_T = 16$.

In accordo alle elaborazioni proposte da Franco (1995) è stata scelta la soglia per il metodo *P.O.T.* pari a 2,5m per i settori direzionali 325°N-15°N e 15°N-75°N e 2m per il settore 75°N-125°N. In analogia con quanto già fatto per i dati estremi del K.N.M.I. “Settore italiano”, nelle Tabelle 4.2.9, 4.2.11 e 4.2.13 (ognuna relativa ad un settore direzionale di provenienza) sono riportati gli N_T valori di H_s , gli N valori sopra le soglie predette, nonché i valori delle frequenze cumulate e della variabile standardizzata per le varie serie di dati estremi di Pescara.

L'adattamento dei dati alle funzioni di distribuzione probabilistiche di Gumbel e Weibull a tre parametri è stato condotto con il metodo dei minimi quadrati: i risultati sono riportati nelle Figure 4.2.9, 4.2.11 e 4.2.13, rispettivamente per i tre settori direzionali individuati per Pescara.

Nelle Tabelle 4.2.10, 4.2.12 e 4.2.14 sono riportate le altezze d'onda significative stimate per alcuni tempi di ritorno secondo le cinque leggi di distribuzione probabilistica considerate, quelle corrette come proposto da Goda (H_{corr}) per tenere conto dell'errore dovuto alla non conoscenza della vera distribuzione della popolazione ed infine anche il valore assoluto dell'errore standard $s(H)$ associato a ciascuna stima estrema.

Per concludere nelle Figure 4.2.10, 4.2.12 e 4.2.14, rispettivamente per ciascun settore direzionale individuato, si riporta in scala bilogarithmica, l'andamento delle H_{corr} in funzione del tempo di ritorno, al variare delle cinque leggi probabilistiche prese in esame.

Tabella 4.2.9 – Analisi delle onde estreme dei dati della boa della R.O.N. al largo di Pescara, settore di provenienza 325°N-15°N

m	xm	Gumbel		Weibull (0,75)		Weibull (1,00)		Weibull (1,40)		Weibull (2,00)	
		FT	ym	FT	ym	FT	ym	FT	ym	FT	ym
1	5,3	0,9925	4,90	0,9935	8,64	0,9930	4,96	0,9924	3,10	0,9919	2,20
2	5,1	0,9792	3,86	0,9803	6,19	0,9797	3,90	0,9792	2,63	0,9786	1,96
3	5,1	0,9659	3,36	0,9670	5,14	0,9665	3,39	0,9659	2,39	0,9654	1,83
4	5,0	0,9526	3,03	0,9538	4,47	0,9532	3,06	0,9526	2,22	0,9521	1,74
5	4,9	0,9393	2,77	0,9405	3,99	0,9399	2,81	0,9394	2,09	0,9388	1,67
6	4,7	0,9260	2,57	0,9273	3,61	0,9267	2,61	0,9261	1,98	0,9256	1,61
7	4,6	0,9127	2,39	0,9140	3,31	0,9134	2,45	0,9128	1,89	0,9123	1,56
8	4,3	0,8994	2,24	0,9008	3,05	0,9002	2,30	0,8996	1,81	0,8990	1,51
9	4,1	0,8860	2,11	0,8875	2,84	0,8869	2,18	0,8863	1,74	0,8858	1,47
10	3,8	0,8727	1,99	0,8743	2,64	0,8737	2,07	0,8730	1,68	0,8725	1,44
11	3,7	0,8594	1,89	0,8610	2,48	0,8604	1,97	0,8598	1,62	0,8592	1,40
12	3,6	0,8461	1,79	0,8478	2,32	0,8471	1,88	0,8465	1,57	0,8460	1,37
13	3,5	0,8328	1,70	0,8345	2,19	0,8339	1,80	0,8333	1,52	0,8327	1,34
14	3,4	0,8195	1,61	0,8213	2,06	0,8206	1,72	0,8200	1,47	0,8194	1,31
15	3,4	0,8062	1,54	0,8080	1,95	0,8074	1,65	0,8067	1,43	0,8061	1,28
16	3,3	0,7929	1,46	0,7948	1,85	0,7941	1,58	0,7935	1,38	0,7929	1,25
17	3,3	0,7796	1,39	0,7815	1,75	0,7809	1,52	0,7802	1,35	0,7796	1,23
18	3,2	0,7662	1,32	0,7683	1,66	0,7676	1,46	0,7669	1,31	0,7663	1,21
19	3,2	0,7529	1,26	0,7550	1,58	0,7543	1,40	0,7537	1,27	0,7531	1,18
20	3,2	0,7396	1,20	0,7418	1,50	0,7411	1,35	0,7404	1,24	0,7398	1,16
21	3,0	0,7263	1,14	0,7285	1,42	0,7278	1,30	0,7271	1,21	0,7265	1,14
22	2,9	0,7130	1,08	0,7153	1,36	0,7146	1,25	0,7139	1,17	0,7133	1,12
23	2,9	0,6997	1,03	0,7020	1,29	0,7013	1,21	0,7006	1,14	0,7000	1,10
24	2,8	0,6864	0,98	0,6888	1,23	0,6881	1,16	0,6874	1,11	0,6867	1,08
25	2,8	0,6731	0,93	0,6755	1,17	0,6748	1,12	0,6741	1,09	0,6735	1,06
26	2,8	0,6597	0,88	0,6623	1,12	0,6615	1,08	0,6608	1,06	0,6602	1,04
27	2,8	0,6464	0,83	0,6490	1,06	0,6483	1,04	0,6476	1,03	0,6469	1,02
28	2,7	0,6331	0,78	0,6358	1,01	0,6350	1,01	0,6343	1,00	0,6337	1,00
29	2,7	0,6198	0,74	0,6225	0,97	0,6218	0,97	0,6210	0,98	0,6204	0,98
30	2,7	0,6065	0,69	0,6092	0,92	0,6085	0,94	0,6078	0,95	0,6071	0,97
31	2,6	0,5932	0,65	0,5960	0,88	0,5953	0,90	0,5945	0,93	0,5938	0,95
32	2,6	0,5799	0,61	0,5827	0,84	0,5820	0,87	0,5812	0,91	0,5806	0,93

continua.....

continua tabella 4.2.9

33	2,6	0,5666	0,57	0,5695	0,80	0,5687	0,84	0,5680	0,88	0,5673	0,92
34	2,5	0,5532	0,52	0,5562	0,76	0,5555	0,81	0,5547	0,86	0,5540	0,90
35	2,5	0,5399	0,48	0,5430	0,72	0,5422	0,78	0,5415	0,84	0,5408	0,88
36	2,5	0,5266	0,44	0,5297	0,69	0,5290	0,75	0,5282	0,82	0,5275	0,87
37	2,4	0,5133	0,41	0,5165	0,65	0,5157	0,73	0,5149	0,79	0,5142	0,85
38	2,4	0,5000	0,37	0,5032	0,62	0,5025	0,70	0,5017	0,77	0,5010	0,83
39	2,4	0,4867	0,33	0,4900	0,59	0,4892	0,67	0,4884	0,75	0,4877	0,82
40	2,4	0,4734	0,29	0,4767	0,56	0,4759	0,65	0,4751	0,73	0,4744	0,80
41	2,4	0,4601	0,25	0,4635	0,53	0,4627	0,62	0,4619	0,71	0,4612	0,79
42	2,4	0,4468	0,22	0,4502	0,50	0,4494	0,60	0,4486	0,69	0,4479	0,77
43	2,3	0,4334	0,18	0,4370	0,48	0,4362	0,57	0,4353	0,67	0,4346	0,76
44	2,3	0,4201	0,14	0,4237	0,45	0,4229	0,55	0,4221	0,65	0,4213	0,74
45	2,3	0,4068	0,11	0,4105	0,43	0,4097	0,53	0,4088	0,63	0,4081	0,72
46	2,3	0,3935	0,07	0,3972	0,40	0,3964	0,50	0,3956	0,61	0,3948	0,71
47	2,2	0,3802	0,03	0,3840	0,38	0,3831	0,48	0,3823	0,59	0,3815	0,69
48	2,2	0,3669	0,00	0,3707	0,36	0,3699	0,46	0,3690	0,57	0,3683	0,68
49	2,2	0,3536	-0,04	0,3575	0,34	0,3566	0,44	0,3558	0,56	0,3550	0,66
50	2,2	0,3403	-0,08	0,3442	0,32	0,3434	0,42	0,3425	0,54	0,3417	0,65
51	2,2	0,3269	-0,11	0,3310	0,30	0,3301	0,40	0,3292	0,52	0,3285	0,63
52	2,2	0,3136	-0,15	0,3177	0,28	0,3169	0,38	0,3160	0,50	0,3152	0,62
53	2,2	0,3003	-0,18	0,3045	0,26	0,3036	0,36	0,3027	0,48	0,3019	0,60
54	2,1	0,2870	-0,22	0,2912	0,24	0,2903	0,34	0,2894	0,46	0,2887	0,58
55	2,1	0,2737	-0,26	0,2780	0,22	0,2771	0,32	0,2762	0,45	0,2754	0,57
56	2,1	0,2604	-0,30	0,2647	0,21	0,2638	0,31	0,2629	0,43	0,2621	0,55
57	2,1	0,2471	-0,34	0,2515	0,19	0,2506	0,29	0,2497	0,41	0,2488	0,53
58	2,1	0,2338	-0,37	0,2382	0,18	0,2373	0,27	0,2364	0,39	0,2356	0,52
59	2,1	0,2204	-0,41	0,2250	0,16	0,2240	0,25	0,2231	0,37	0,2223	0,50
60	2,1	0,2071	-0,45	0,2117	0,15	0,2108	0,24	0,2099	0,36	0,2090	0,48
61	2,1	0,1938	-0,50	0,1985	0,13	0,1975	0,22	0,1966	0,34	0,1958	0,47
62	2,1	0,1805	-0,54	0,1852	0,12	0,1843	0,20	0,1833	0,32	0,1825	0,45
63	2,1	0,1672	-0,58	0,1720	0,11	0,1710	0,19	0,1701	0,30	0,1692	0,43
64	2,1	0,1539	-0,63	0,1587	0,10	0,1578	0,17	0,1568	0,28	0,1560	0,41
65	2,1	0,1406	-0,67	0,1455	0,08	0,1445	0,16	0,1435	0,26	0,1427	0,39
66	2,1	0,1273	-0,72	0,1322	0,07	0,1312	0,14	0,1303	0,25	0,1294	0,37
67	2,0	0,1140	-0,78	0,1190	0,06	0,1180	0,13	0,1170	0,23	0,1162	0,35
68	2,0	0,1006	-0,83	0,1057	0,05	0,1047	0,11	0,1038	0,21	0,1029	0,33
69	2,0	0,0873	-0,89	0,0925	0,04	0,0915	0,10	0,0905	0,19	0,0896	0,31
70	2,0	0,0740	-0,96	0,0792	0,04	0,0782	0,08	0,0772	0,17	0,0763	0,28
71	2,0	0,0607	-1,03	0,0660	0,03	0,0650	0,07	0,0640	0,14	0,0631	0,26
72	2,0	0,0474	-1,11	0,0527	0,02	0,0517	0,05	0,0507	0,12	0,0498	0,23
73	2,0	0,0341	-1,22	0,0395	0,01	0,0384	0,04	0,0374	0,10	0,0365	0,19
74	2,0	0,0208	-1,35	0,0262	0,01	0,0252	0,03	0,0242	0,07	0,0233	0,15
75	2,0	0,0075	-1,59	0,0130	0,00	0,0119	0,01	0,0109	0,04	0,0100	0,10

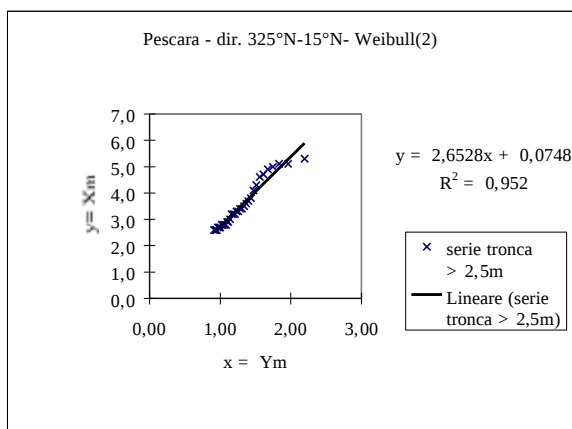
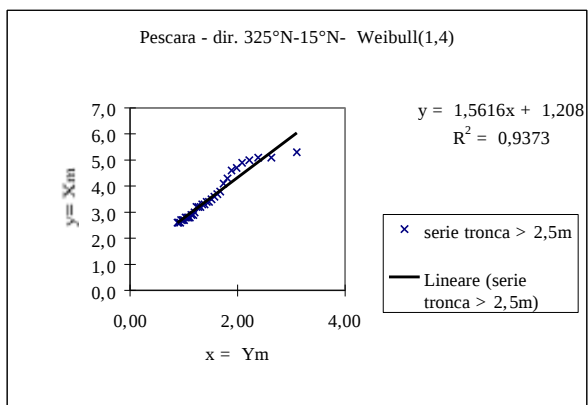
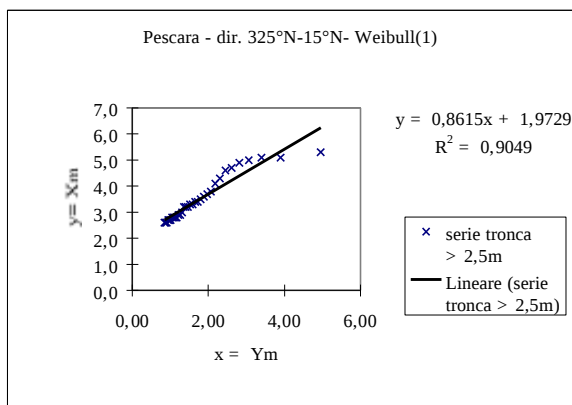
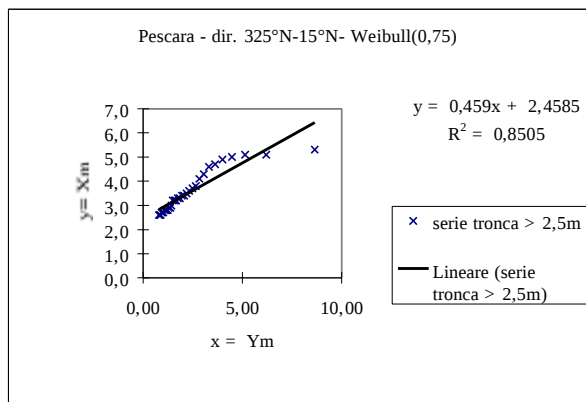
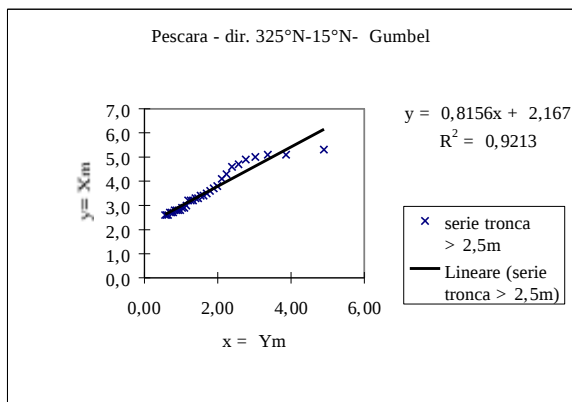


Figura 4.2.9 – Stima dei parametri della distribuzione di probabilità dei valori estremi con il metodo dei minimi quadrati – Dati della boa della R.O.N. al largo di Pescara, settore di provenienza: 325°N-15°N

Tabella 4.2.10 – Elaborazione delle onde estreme con il metodo P.O.T. - Dati della boa della R.O.N. al largo di Pescara, settore di provenienza: 325°N-15°N

NT = 75 media = 3,533 s.q.m.c. = 0,866 anni oss.) = 6,5 $\lambda = 11,538$ N = 33 $v = 0,440$																					
		Gumbel				Weibull (0,75)				Weibull (1,00)				Weibull (1,40)				Weibull (2,00)			
		A =																			
		0,8156				0,459				0,8615				1,5616				2,6528			
		B =	0,9213			2,4585				1,9729				1,208				0,952			
		R =	0,9598			0,9222				0,9513				0,9681				0,9757			
		$-\alpha \cdot \ln v$	0,7389			2,2166				0,8210				0,4105				0,2873			
		yT	H	Hcorr	$\sigma(H)$	yT	H	Hcorr	$\sigma(H)$	yT	H	Hcorr	$\sigma(H)$	yT	H	Hcorr	$\sigma(H)$	yT	H	Hcorr	$\sigma(H)$
T =	1	2,4	2,9	2,9	0,3	3,3	4,0	3,9	0,2	2,4	4,1	4,1	0,3	1,9	4,2	4,2	0,3	1,6	5,1	5,3	0,4
T =	10	4,7	4,8	4,9	0,8	8,0	6,1	5,8	0,7	4,7	6,1	6,1	0,7	3,0	6,0	6,3	0,8	2,2	6,7	7,6	0,9
T =	50	6,4	6,1	6,2	1,3	11,8	7,9	7,1	1,1	6,4	7,5	7,5	1,2	3,7	7,1	7,6	1,3	2,5	7,6	9,1	1,3
T =	36	6,0	5,8	6,0	1,2	11,0	7,5	6,9	1,0	6,0	7,2	7,2	1,1	3,6	6,8	7,3	1,2	2,5	7,5	8,8	1,2
T =	70	6,7	6,4	6,5	1,4	12,6	8,2	7,4	1,2	6,7	7,7	7,8	1,3	3,9	7,3	7,9	1,4	2,6	7,8	9,5	1,5
T =	140	7,4	6,9	7,1	1,6	14,4	9,1	8,0	1,4	7,4	8,3	8,4	1,6	4,2	7,7	8,5	1,6	2,7	8,2	10,1	1,7
		$\alpha = 0,900$				$\alpha = 2,700$				$\alpha = 1,000$				$\alpha = 0,500$				$\alpha = 0,350$			
		p = 1,6				p = 1,2				p = 1,7				p = 2,3				p = 3,2			
		b1 = 0,46				b1 = 0,41				b1 = 0,38				b1 = 0,46				b1 = 0,56			
		b2 = 0,14				b2 = 0,22				b2 = 0,17				b2 = 0,09				b2 = 0,2			
		Nc = 50				Nc = 20				Nc = 20				Nc = 20				Nc = 100			
		As = 0,4646				As = 0,4204				As = 0,3880				As = 0,4643				As = 0,6064			

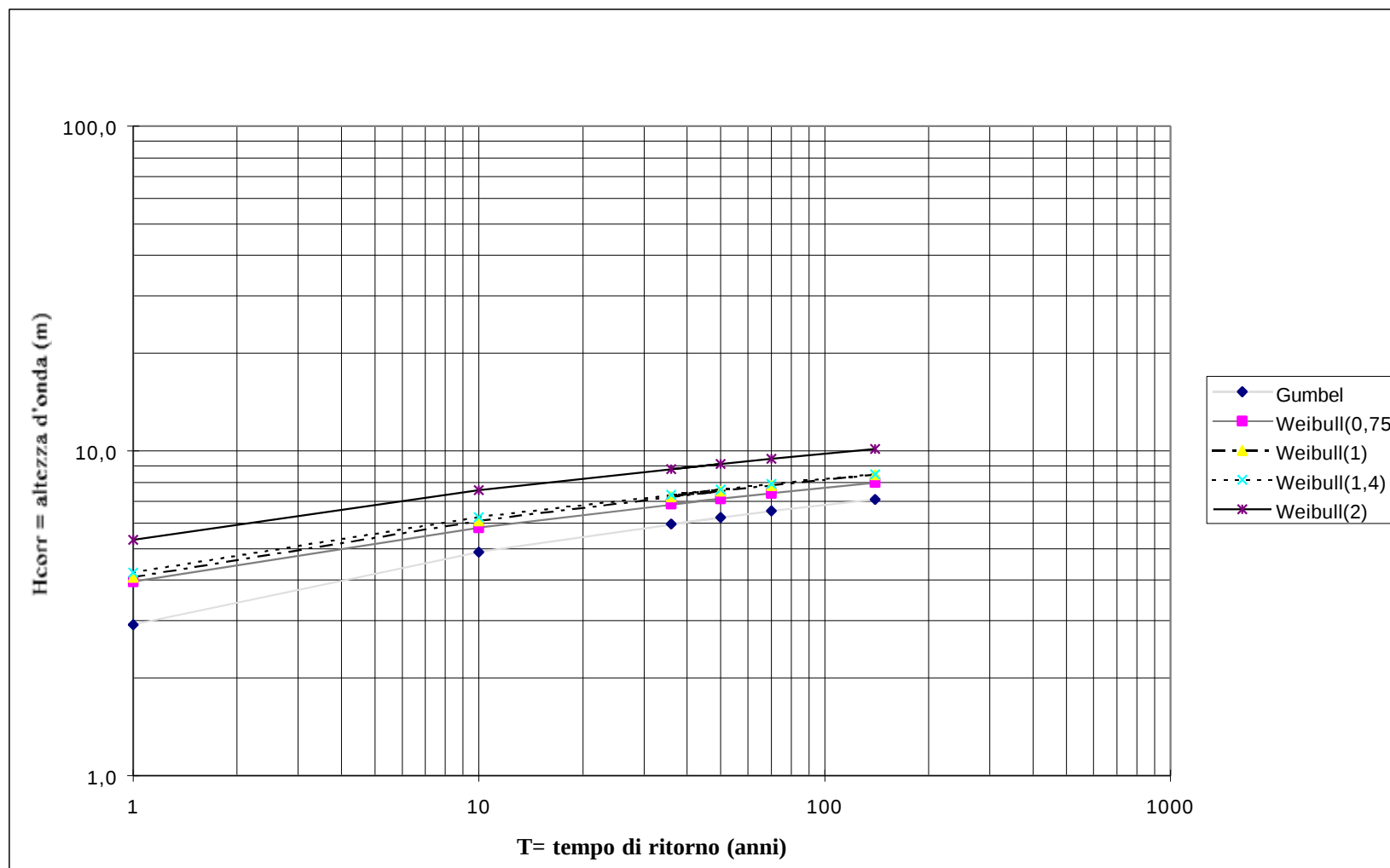


Figura 4.2.10 – Andamento grafico ($H_{corretta}$ -tempo di ritorno) per le cinque leggi di distribuzione probabilistica esaminate - Dati della boa della R.O.N. al largo di Pescara, settore di provenienza: 325°N-15°N

Tabella 4.2.11 – Analisi delle onde estreme dei dati della boa della R.O.N. al largo di Pescara, settore di provenienza 15°N-75°N

m	xm	Gumbel		Weibull (0,75)		Weibull (1,00)		Weibull (1,40)		Weibull (2,00)	
		FT	ym	FT	ym	FT	ym	FT	ym	FT	ym
1	6,2	0,9873	4,36	0,9890	7,46	0,9881	4,43	0,9871	2,86	0,9863	2,07
2	4,4	0,9646	3,32	0,9665	5,11	0,9656	3,37	0,9646	2,37	0,9637	1,82
3	4,4	0,9420	2,82	0,9440	4,10	0,9431	2,87	0,9421	2,11	0,9412	1,68
4	4,4	0,9193	2,48	0,9216	3,48	0,9205	2,53	0,9195	1,94	0,9186	1,58
5	4,4	0,8966	2,22	0,8991	3,02	0,8980	2,28	0,8970	1,80	0,8961	1,50
6	4,1	0,8740	2,00	0,8766	2,68	0,8755	2,08	0,8745	1,68	0,8736	1,44
7	3,8	0,8513	1,83	0,8541	2,39	0,8530	1,92	0,8520	1,59	0,8510	1,38
8	3,8	0,8286	1,67	0,8316	2,16	0,8305	1,78	0,8294	1,50	0,8285	1,33
9	3,7	0,8060	1,53	0,8091	1,96	0,8080	1,65	0,8069	1,43	0,8059	1,28
10	3,6	0,7833	1,41	0,7866	1,79	0,7855	1,54	0,7844	1,36	0,7834	1,24
11	3,4	0,7607	1,30	0,7641	1,63	0,7630	1,44	0,7619	1,29	0,7609	1,20
12	3,2	0,7380	1,19	0,7416	1,50	0,7405	1,35	0,7393	1,24	0,7383	1,16
13	3,2	0,7153	1,09	0,7191	1,38	0,7180	1,27	0,7168	1,18	0,7158	1,12
14	3,2	0,6927	1,00	0,6967	1,27	0,6955	1,19	0,6943	1,13	0,6932	1,09
15	3,0	0,6700	0,92	0,6742	1,17	0,6730	1,12	0,6718	1,08	0,6707	1,05
16	3,0	0,6473	0,83	0,6517	1,07	0,6505	1,05	0,6492	1,03	0,6481	1,02
17	3,0	0,6247	0,75	0,6292	0,99	0,6280	0,99	0,6267	0,99	0,6256	0,99
18	2,9	0,6020	0,68	0,6067	0,91	0,6054	0,93	0,6042	0,95	0,6031	0,96
19	2,9	0,5793	0,61	0,5842	0,84	0,5829	0,87	0,5817	0,91	0,5805	0,93
20	2,9	0,5567	0,53	0,5617	0,77	0,5604	0,82	0,5591	0,87	0,5580	0,90
21	2,9	0,5340	0,47	0,5392	0,71	0,5379	0,77	0,5366	0,83	0,5354	0,88
22	2,8	0,5113	0,40	0,5167	0,65	0,5154	0,72	0,5141	0,79	0,5129	0,85
23	2,8	0,4887	0,33	0,4943	0,60	0,4929	0,68	0,4916	0,76	0,4904	0,82
24	2,7	0,4660	0,27	0,4718	0,55	0,4704	0,64	0,4690	0,72	0,4678	0,79
25	2,6	0,4433	0,21	0,4493	0,50	0,4479	0,59	0,4465	0,69	0,4453	0,77
26	2,6	0,4207	0,14	0,4268	0,46	0,4254	0,55	0,4240	0,65	0,4227	0,74
27	2,5	0,3980	0,08	0,4043	0,42	0,4029	0,52	0,4015	0,62	0,4002	0,71
28	2,5	0,3753	0,02	0,3818	0,38	0,3804	0,48	0,3789	0,59	0,3777	0,69
29	2,4	0,3527	-0,04	0,3593	0,34	0,3579	0,44	0,3564	0,56	0,3551	0,66
30	2,3	0,3300	-0,10	0,3368	0,31	0,3354	0,41	0,3339	0,53	0,3326	0,64
31	2,3	0,3073	-0,17	0,3143	0,27	0,3129	0,38	0,3114	0,49	0,3100	0,61
32	2,3	0,2847	-0,23	0,2919	0,24	0,2903	0,34	0,2888	0,46	0,2875	0,58
33	2,2	0,2620	-0,29	0,2694	0,21	0,2678	0,31	0,2663	0,43	0,2649	0,55
34	2,2	0,2393	-0,36	0,2469	0,19	0,2453	0,28	0,2438	0,40	0,2424	0,53
35	2,1	0,2167	-0,42	0,2244	0,16	0,2228	0,25	0,2213	0,37	0,2199	0,50
36	2,1	0,1940	-0,49	0,2019	0,14	0,2003	0,22	0,1987	0,34	0,1973	0,47
37	2,1	0,1714	-0,57	0,1794	0,12	0,1778	0,20	0,1762	0,31	0,1748	0,44
38	2,1	0,1487	-0,64	0,1569	0,09	0,1553	0,17	0,1537	0,28	0,1522	0,41
39	2,1	0,1260	-0,73	0,1344	0,08	0,1328	0,14	0,1312	0,25	0,1297	0,37
40	2,1	0,1034	-0,82	0,1119	0,06	0,1103	0,12	0,1086	0,21	0,1072	0,34
41	2,0	0,0807	-0,92	0,0894	0,04	0,0878	0,09	0,0861	0,18	0,0846	0,30
42	2,0	0,0580	-1,05	0,0670	0,03	0,0653	0,07	0,0636	0,14	0,0621	0,25
43	2,0	0,0354	-1,21	0,0445	0,02	0,0428	0,04	0,0411	0,10	0,0395	0,20
44	2,0	0,0127	-1,47	0,0220	0,01	0,0203	0,02	0,0185	0,06	0,0170	0,13

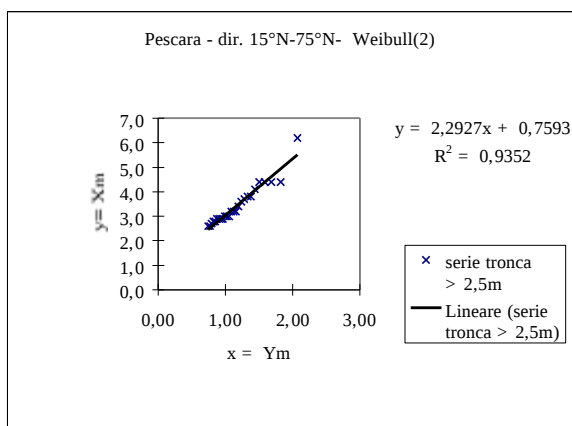
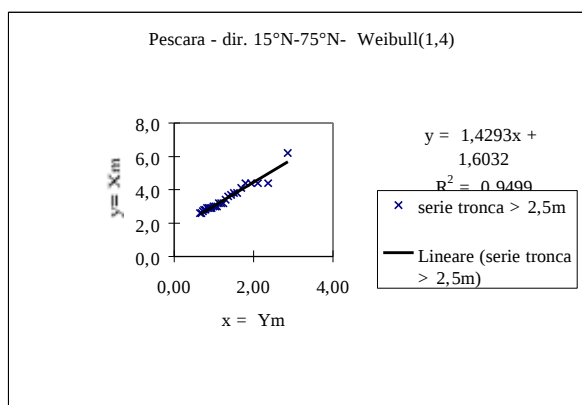
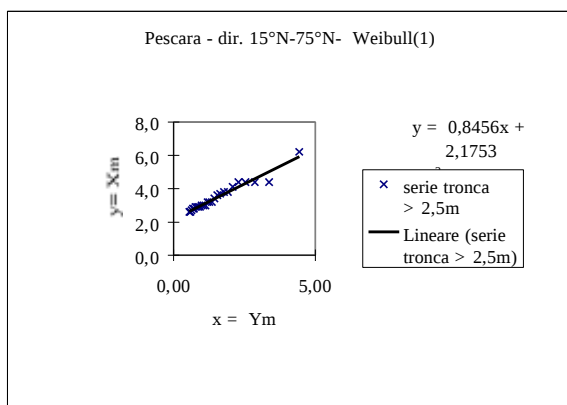
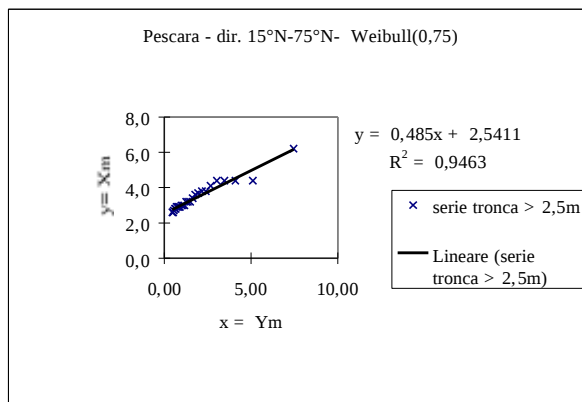
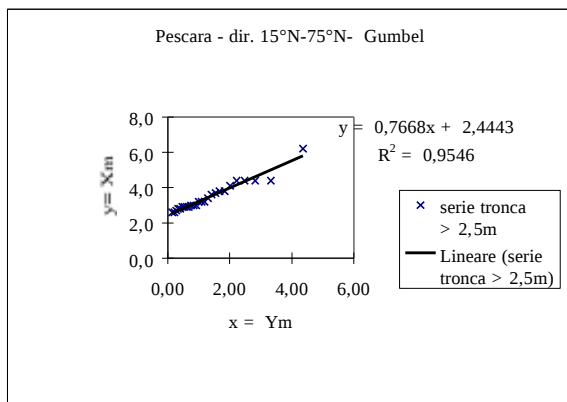


Figura 4.2.11 – Stima dei parametri della distribuzione di probabilità dei valori estremi con il metodo dei minimi quadrati – Dati della boa della R.O.N. al largo di Pescara, settore di provenienza: 15°N-75°N

Tabella 4.2.12 – Elaborazione delle onde estreme con il metodo P.O.T. - Dati della boas della R.O.N. al largo di Pescara , settore di provenienza: 15°N-75°N

NT = 4d media= 3,458 s.q.m.c. = 0,819 h(anni ass.) = 6,5 $\lambda = 6,769$ N= 26 v= 0,591																					
	A - B - R - - $\alpha \cdot h \cdot v$	Gumbel				Weibull (0,75)				Weibull (1,00)				Weibull (1,40)				Weibull (2,00)			
		0,7668 2,4443				0,485 2,5411				0,8456 2,1753				1,4293 1,6032				2,2927 0,7593			
		0,9770 0,4735				0,9728 1,4205				0,9780 0,5261				0,9746 0,2630				0,9671 0,1841			
		yT	H	Hcorr	$\alpha(H)$	yT	H	Hcorr	$\alpha(H)$	yT	H	Hcorr	$\alpha(H)$	yT	H	Hcorr	$\alpha(H)$	yT	H	Hcorr	$\alpha(H)$
T=	1	1,8	3,9	3,9	0,3	2,4	3,7	3,7	0,2	1,9	3,8	3,8	0,3	1,6	3,9	3,9	0,3	1,4	3,9	4,1	0,3
T=	10	4,2	5,7	5,8	0,8	6,8	5,8	5,6	0,7	4,2	5,7	5,8	0,7	2,8	5,6	5,9	0,8	2,1	5,5	6,3	0,9
T=	50	5,8	6,9	7,1	1,3	10,5	7,6	7,0	1,1	5,8	7,1	7,2	1,2	3,5	6,6	7,2	1,3	2,4	6,3	7,9	1,5
T=	36	5,5	6,7	6,8	1,2	9,7	7,2	6,7	1,0	5,5	6,8	6,9	1,1	3,4	6,4	6,9	1,2	2,3	6,1	7,5	1,3
T=	70	6,2	7,2	7,4	1,4	11,3	8,0	7,3	1,2	6,2	7,4	7,5	1,3	3,7	6,8	7,4	1,4	2,5	6,5	8,2	1,6
T=	140	6,9	7,7	7,9	1,6	13,0	8,9	7,9	1,4	6,9	8,0	8,1	1,6	4,0	7,3	8,0	1,7	2,6	6,8	8,9	1,9
$\alpha = 0,900$ p = 1,6 b1 = 0,46 b2 = 0,14 Nc = 50 As = 0,4713 $\alpha = 2,700$ p = 1,2 b1 = 0,41 b2 = 0,22 Nc = 20 As = 0,4129 $\alpha = 1,000$ p = 1,7 b1 = 0,38 b2 = 0,17 Nc = 20 As = 0,3822 $\alpha = 0,500$ p = 2,3 b1 = 0,46 b2 = 0,09 Nc = 20 As = 0,4612 $\alpha = 0,350$ p = 3,2 b1 = 0,56 b2 = 0,2 Nc = 100 As = 0,6285																					

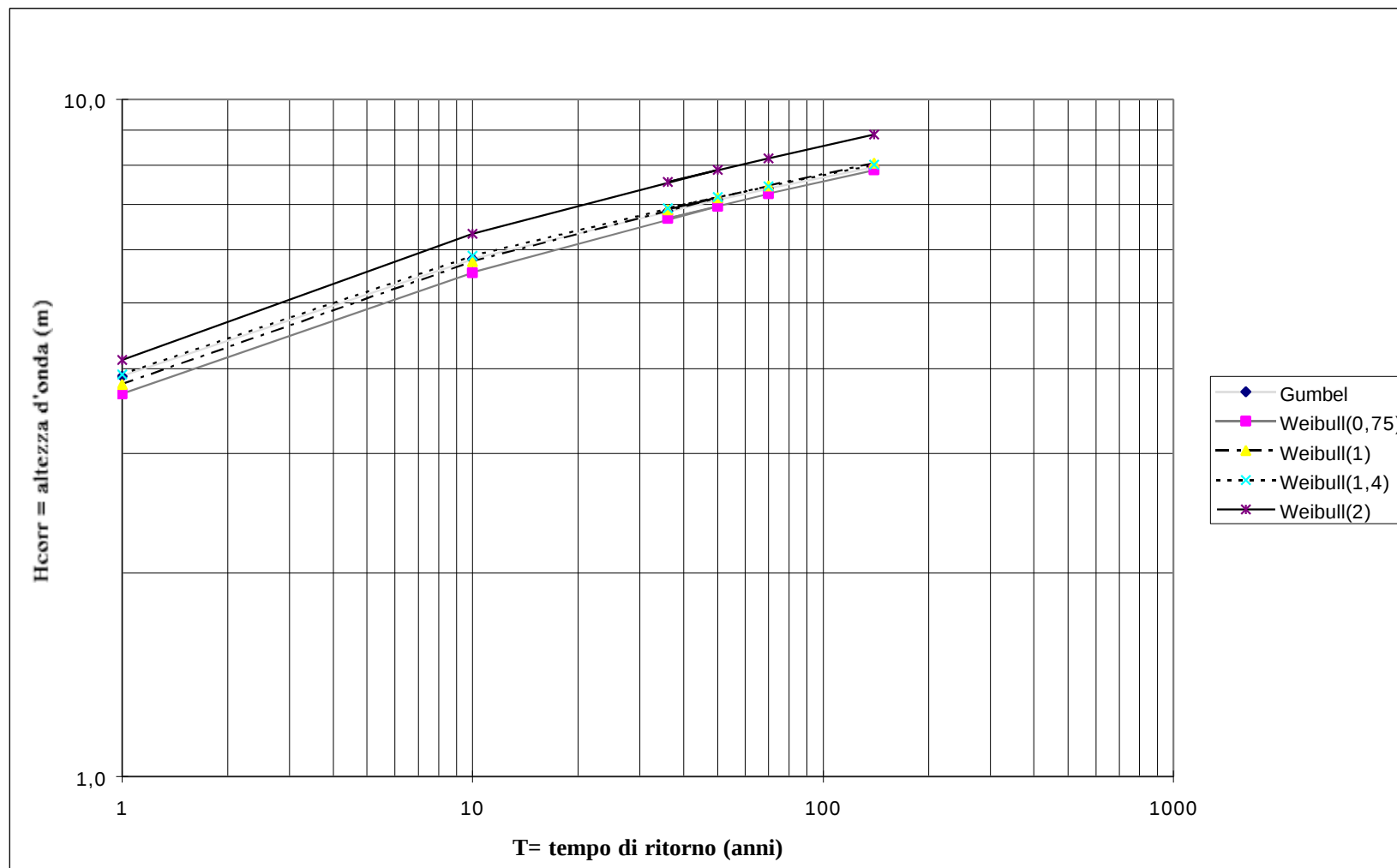


Figura 4.2.12 – Andamento grafico ($H_{corretta}$ -tempo di ritorno) per le cinque leggi di distribuzione probabilistica esaminate - Dati della boa della R.O.N. al largo di Pescara, settore di provenienza: 15°N-75°N

Tabella 4.2.13 – Analisi delle onde estreme dei dati della boa della R.O.N. al largo di Pescara, settore di provenienza 75°N-125°N

m	xm	Gumbel		Weibull (0,75)		Weibull (1,00)		Weibull (1,40)		Weibull (2,00)	
		FT	ym	FT	ym	FT	ym	FT	ym	FT	ym
1	3,7	0,9653	3,34	0,9703	5,35	0,9677	3,43	0,9651	2,37	0,9628	1,81
2	3,2	0,9032	2,28	0,9096	3,22	0,9069	2,37	0,9041	1,84	0,9017	1,52
3	3,1	0,8412	1,75	0,8489	2,34	0,8460	1,87	0,8431	1,55	0,8405	1,35
4	3,0	0,7792	1,39	0,7882	1,80	0,7851	1,54	0,7821	1,35	0,7794	1,23
5	2,5	0,7171	1,10	0,7274	1,42	0,7243	1,29	0,7211	1,19	0,7183	1,13
6	2,4	0,6551	0,86	0,6667	1,13	0,6634	1,09	0,6601	1,06	0,6572	1,03
7	2,3	0,5931	0,65	0,6060	0,91	0,6026	0,92	0,5991	0,94	0,5961	0,95
8	2,2	0,5310	0,46	0,5452	0,73	0,5417	0,78	0,5381	0,83	0,5350	0,88
9	2,1	0,4690	0,28	0,4845	0,58	0,4808	0,66	0,4771	0,73	0,4739	0,80
10	2,1	0,4069	0,11	0,4238	0,45	0,4200	0,54	0,4162	0,64	0,4127	0,73
11	2,1	0,3449	-0,06	0,3630	0,35	0,3591	0,44	0,3552	0,56	0,3516	0,66
12	2,1	0,2829	-0,23	0,3023	0,26	0,2982	0,35	0,2942	0,47	0,2905	0,59
13	2,0	0,2208	-0,41	0,2416	0,18	0,2374	0,27	0,2332	0,39	0,2294	0,51
14	2,0	0,1588	-0,61	0,1808	0,12	0,1765	0,19	0,1722	0,30	0,1683	0,43
15	2,0	0,0968	-0,85	0,1201	0,06	0,1156	0,12	0,1112	0,22	0,1072	0,34
16	2,0	0,0347	-1,21	0,0594	0,02	0,0548	0,06	0,0502	0,12	0,0461	0,22

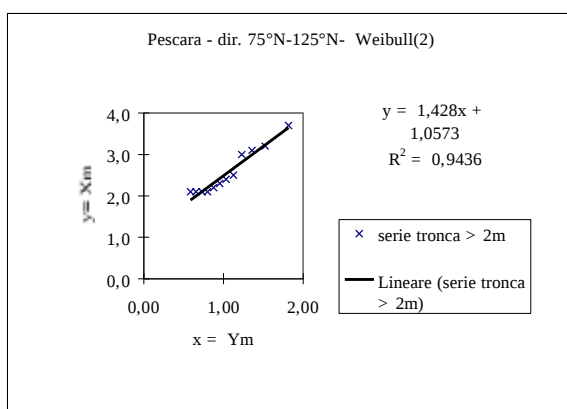
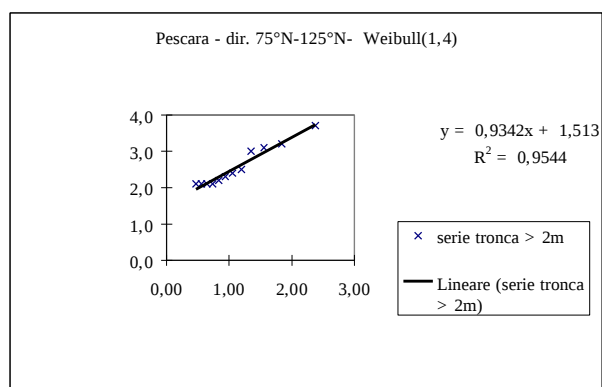
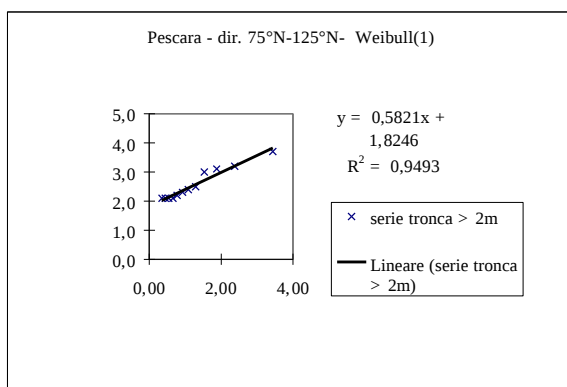
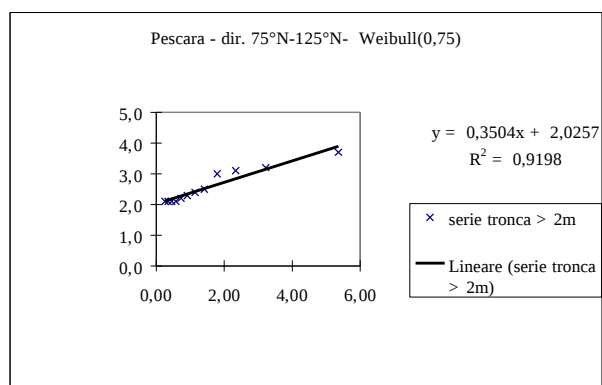
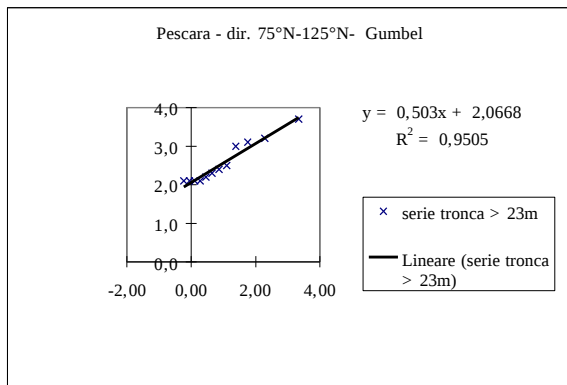


Figura 4.2.13 – Stima dei parametri della distribuzione di probabilità dei valori estremi con il metodo dei minimi quadrati – Dati della boa della R.O.N. al largo di Pescara, settore di provenienza: 75°N-125°N

NT = 16 media= 2.425 s.q.m.c. = 0.531 ini oss.) = 6.5 λ = 2.462 N = 12 v = 0.750																					
	A = B = R = -α*ln v	Gumbel				Weibull (0.75)				Weibull (1.00)				Weibull (1.40)				Weibull (2.00)			
		0.503 2.0668 0.9749 0.2589				0.6504 2.0257 0.9591 0.7767				0.5821 1.8246 0.9743 0.2877				0.9342 1.513 0.9769 0.1438				1.428 1.0573 0.9714 0.1007			
		γT	H	Hcorr	α(H)	γT	H	Hcorr	α(H)	γT	H	Hcorr	α(H)	γT	H	Hcorr	α(H)	γT	H	Hcorr	α(H)
T =	1	0.7	2,4	2,4	0.2	0.9	2,6	2,6	0.2	0.9	2,3	2,3	0.2	0.9	2,4	2,4	0.2	0.9	2,4	2,5	0.2
T =	10	3,2	3,7	3,9	0.6	4.7	5,1	5,0	0.5	3,2	3,7	3,7	0.5	2,3	3,7	3,8	0.6	1,8	3,6	4,2	0.8
T =	50	4,8	4,5	4,9	1.0	8,1	7,3	7,0	0.9	4,8	4,6	4,7	0.9	3,1	4,4	4,7	1.0	2,2	4,2	5,4	1.3
T =	36	4.5	4,3	4,7	0.9	7,4	6,8	6,6	0.8	4.5	4,4	4,5	0.8	2,9	4,2	4,6	0.9	2,1	4,1	5,1	1.2
T =	70	5,1	4,7	5,1	1.2	8,9	7,8	7,4	0.9	5,1	4,8	4,9	1.0	3,2	4,5	4,9	1.1	2,3	4,3	5,7	1.5
T =	140	5,8	5,0	5,5	1.4	10,5	8,9	8,4	1.1	5,8	5,2	5,3	1.3	3,5	4,8	5,3	1.3	2,4	4,5	6,2	1.8
		α = 0.900 p = 1.6 b1 = 0.46 b2 = 0.14 Nc = 50 As = 0.5138				α = 2.700 p = 1.2 b1 = 0.41 b2 = 0.22 Nc = 20 As = 0.4208				α = 1.000 p = 1.7 b1 = 0.38 b2 = 0.17 Nc = 20 As = 0.3884				α = 0.500 p = 2.3 b1 = 0.46 b2 = 0.09 Nc = 20 As = 0.4644				α = 0.350 p = 3.2 b1 = 0.56 b2 = 0.2 Nc = 100 As = 0.7296			

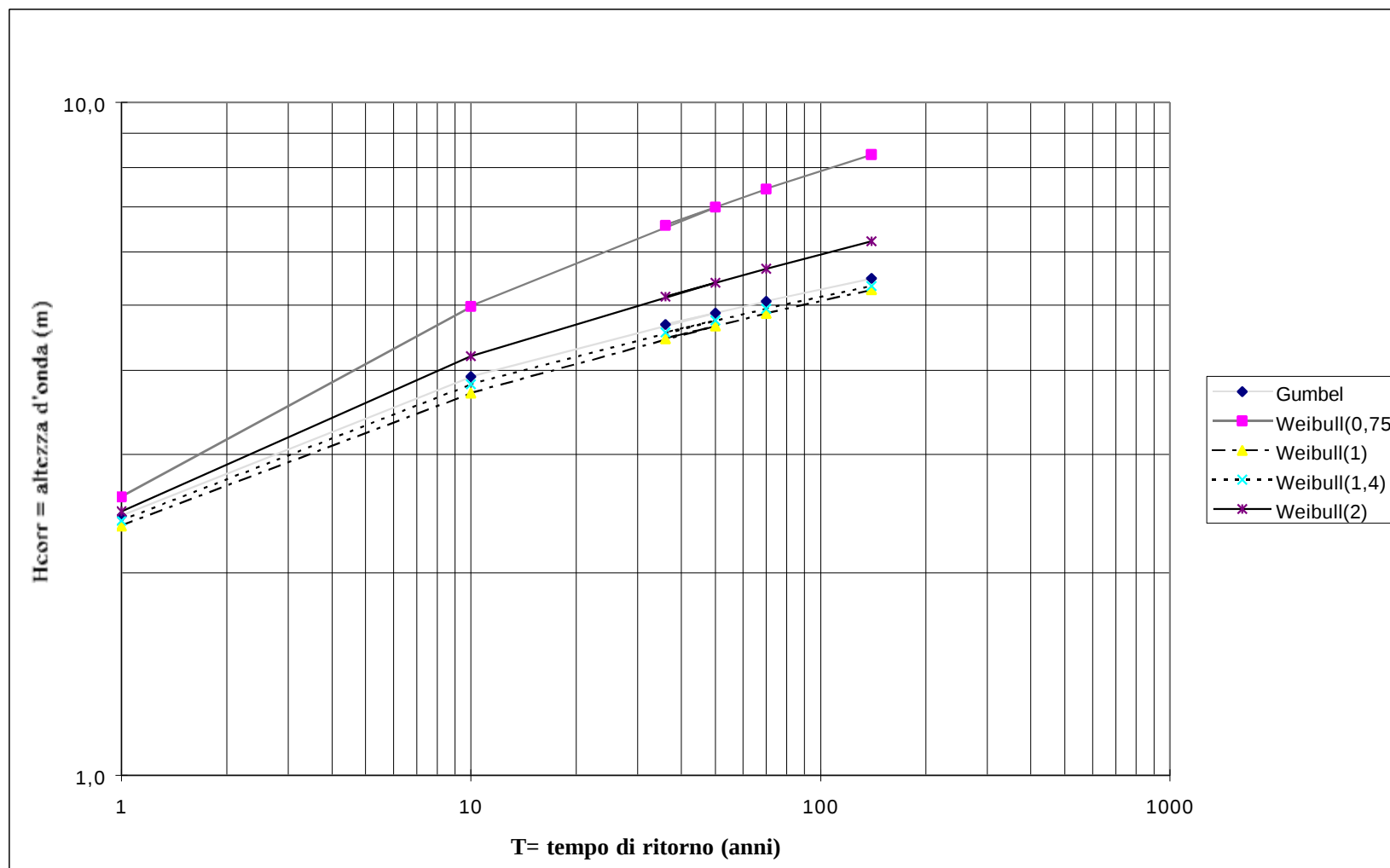


Figura 4.2.14 – Andamento grafico ($H_{corretta}$ -tempo di ritorno) per le cinque leggi di distribuzione probabilistica esaminate - Dati della boa della R.O.N. al largo di Pescara, settore di provenienza: 75°N-125°N

4.2.9) Descrizione dell'elaborazione delle onde estreme dei dati dell'A.P.I.

In questo paragrafo si riportano i risultati dell'elaborazione statistica delle onde estreme condotta sui dati della società A.P.I., già presentati nel paragrafo 3.4) della presente relazione. Il metodo seguito è quello consueto delle serie tronche o “di durata parziale sopra soglia” (*POT*) la cui impostazione teorica è dettagliatamente descritta nei primi paragrafi del presente capitolo.

Ovviamente, trattandosi in questo caso di dati non direzionali, non è stato possibile suddividerli in settori direzionali e quindi le elaborazioni dei dati estremi sono state condotte su un'unica serie di dati ondosi indipendentemente dalla loro direzione di provenienza.

Dalla serie completa delle altezze d'onda significative registrate dall'ondametro posto sulla piattaforma dell'A.P.I. sono stati estratti i valori registrati al culmine di mareggiate indipendenti che hanno raggiunto almeno i 2m: si ottiene così la serie di 20 dati di $H_s > 2\text{m}$ riportati in Tabella 4.2.15. Nella medesima Tabella è evidenziato come solo 10 valori di H_s siano superiori alla soglia scelta pari a 2.5m. Sono riportati anche i valori delle frequenze cumulate e delle variabili standardizzate per i dati dell'A.P.I..

L'adattamento dei dati alle funzioni di distribuzione probabilistiche di Gumbel e Weibull a tre parametri è stato condotto con il metodo dei minimi quadrati: i risultati sono riportati graficamente nella Figura 4.2.15.

Nella Tabella 4.2.16 sono riportate le altezze d'onda significative calcolate per alcuni tempi di ritorno e per le cinque leggi di distribuzione considerate, quelle corrette come proposto da Goda (H_{corr}) per tenere conto dell'errore dovuto alla non conoscenza della vera distribuzione della popolazione, nonché il valore assoluto dell'errore standard $s(H)$ associato a ciascuna stima estrema.

Per concludere si propone nella Figura 4.2.16, in scala bilogarithmica, l'andamento delle H_{corr} in funzione del tempo di ritorno, al variare delle cinque leggi probabilistiche prese in esame.

Tabella 4.2.15 – Analisi delle onde estreme dei dati della piattaforma dell’A.P.I.

m	xm	Gumbel	Weibull (0,75)		Weibull (1,00)		Weibull (1,40)		Weibull (2,00)		
		FT	ym	FT	ym	FT	ym	FT	ym	FT	ym
1	3,94	0,9722	3,57	0,9761	5,80	0,9741	3,65	0,9720	2,48	0,9701	1,87
2	3,43	0,9225	2,52	0,9273	3,61	0,9251	2,59	0,9229	1,96	0,9210	1,59
3	3,34	0,8728	1,99	0,8784	2,70	0,8762	2,09	0,8739	1,68	0,8719	1,43
4	3,08	0,8231	1,64	0,8296	2,14	0,8272	1,76	0,8249	1,49	0,8228	1,32
5	2,99	0,7734	1,36	0,7807	1,74	0,7783	1,51	0,7758	1,33	0,7737	1,22
6	2,75	0,7237	1,13	0,7318	1,44	0,7293	1,31	0,7268	1,20	0,7245	1,14
7	2,65	0,6740	0,93	0,6830	1,20	0,6804	1,14	0,6778	1,09	0,6754	1,06
8	2,62	0,6243	0,75	0,6341	1,01	0,6314	1,00	0,6287	0,99	0,6263	0,99
9	2,58	0,5746	0,59	0,5852	0,84	0,5825	0,87	0,5797	0,90	0,5772	0,93
10	2,56	0,5249	0,44	0,5364	0,70	0,5335	0,76	0,5307	0,82	0,5281	0,87
11	2,49	0,4751	0,30	0,4875	0,58	0,4846	0,66	0,4816	0,74	0,4790	0,81
12	2,43	0,4254	0,16	0,4387	0,48	0,4356	0,57	0,4326	0,67	0,4299	0,75
13	2,39	0,3757	0,02	0,3898	0,39	0,3867	0,49	0,3836	0,60	0,3808	0,69
14	2,38	0,3260	-0,11	0,3409	0,31	0,3377	0,41	0,3345	0,53	0,3317	0,63
15	2,37	0,2763	-0,25	0,2921	0,24	0,2888	0,34	0,2855	0,46	0,2826	0,58
16	2,32	0,2266	-0,40	0,2432	0,18	0,2398	0,27	0,2365	0,39	0,2334	0,52
17	2,30	0,1769	-0,55	0,1943	0,13	0,1909	0,21	0,1874	0,33	0,1843	0,45
18	2,29	0,1272	-0,72	0,1455	0,08	0,1419	0,15	0,1384	0,26	0,1352	0,38
19	2,28	0,0775	-0,94	0,0966	0,05	0,0930	0,10	0,0894	0,18	0,0861	0,30
20	2,26	0,0278	-1,28	0,0478	0,02	0,0441	0,05	0,0403	0,10	0,0370	0,19

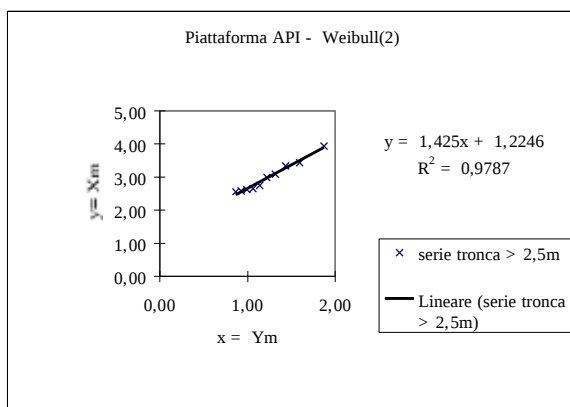
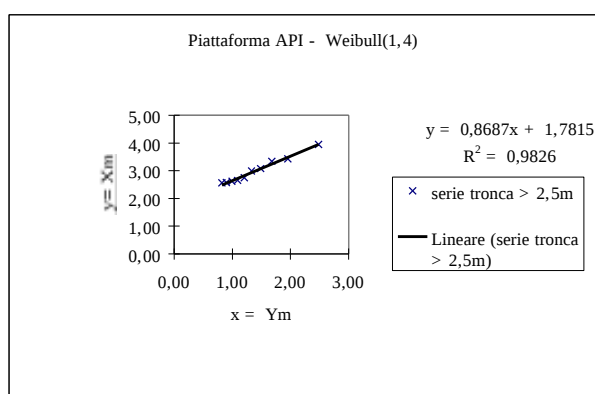
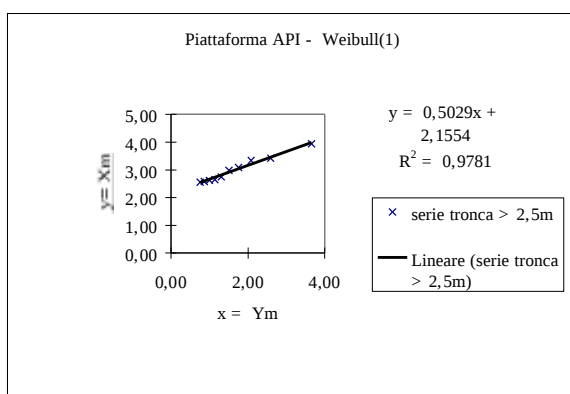
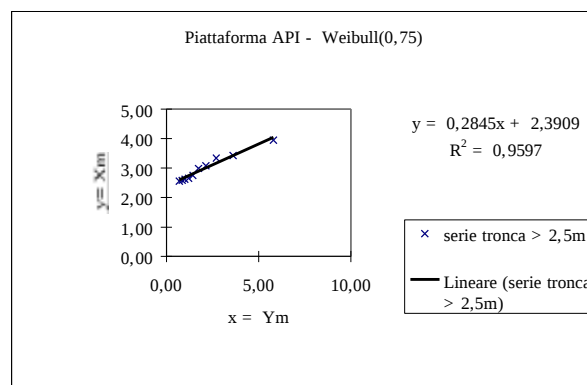
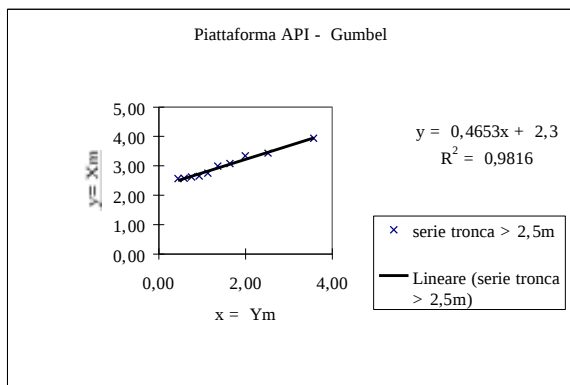


Figura 4.2.15 – Stima dei parametri della distribuzione di probabilità dei valori estremi con il metodo dei minimi quadrati – Dati della piattaforma dell'A.P.I.

Tabella 4.2.16 – Elaborazione delle onde estreme con il metodo P.O.T. - Dati della piattaforma dell'A.P.I.

NT = 20 media = 2,994 s.q.m.c. = 0,458 k(anni oss.) = 1,7 $\lambda = 11,765$ N = 10 $\nu = 0,500$																					
		Gumbel				Weibull (0,75)				Weibull (1,00)				Weibull (1,40)				Weibull (2,00)			
		A =	B =	R =	$-\alpha \cdot \ln \nu$	yT	H	Hcorr	$\sigma(H)$	yT	H	Hcorr	$\sigma(H)$	yT	H	Hcorr	$\sigma(H)$	yT	H	Hcorr	$\sigma(H)$
T =	1	2,4	3,4	3,6	0,3	3,3	3,3	3,3	0,2	2,5	3,4	3,4	0,3	1,9	3,4	3,5	0,3	1,6	3,5	3,7	0,4
T =	10	4,8	4,5	4,9	0,9	8,0	4,7	4,5	0,7	4,8	4,6	4,6	0,8	3,1	4,4	4,7	0,8	2,2	4,3	5,2	1,1
T =	50	6,4	5,3	5,8	1,4	11,8	5,8	5,3	1,1	6,4	5,4	5,4	1,2	3,8	5,0	5,5	1,3	2,5	4,8	6,4	1,7
		$\alpha = 0,900$				$\alpha = 2,700$				$\alpha = 1,000$				$\alpha = 0,500$				$\alpha = 0,350$			
		p = 1,6				p = 1,2				p = 1,7				p = 2,3				p = 3,2			
		b1 = 0,46				b1 = 0,41				b1 = 0,38				b1 = 0,46				b1 = 0,56			
		b2 = 0,14				b2 = 0,22				b2 = 0,17				b2 = 0,09				b2 = 0,2			
		Nc = 50				Nc = 20				Nc = 20				Nc = 20				Nc = 100			
		As = 0,5284				As = 0,4299				As = 0,3954				As = 0,4682				As = 0,7600			

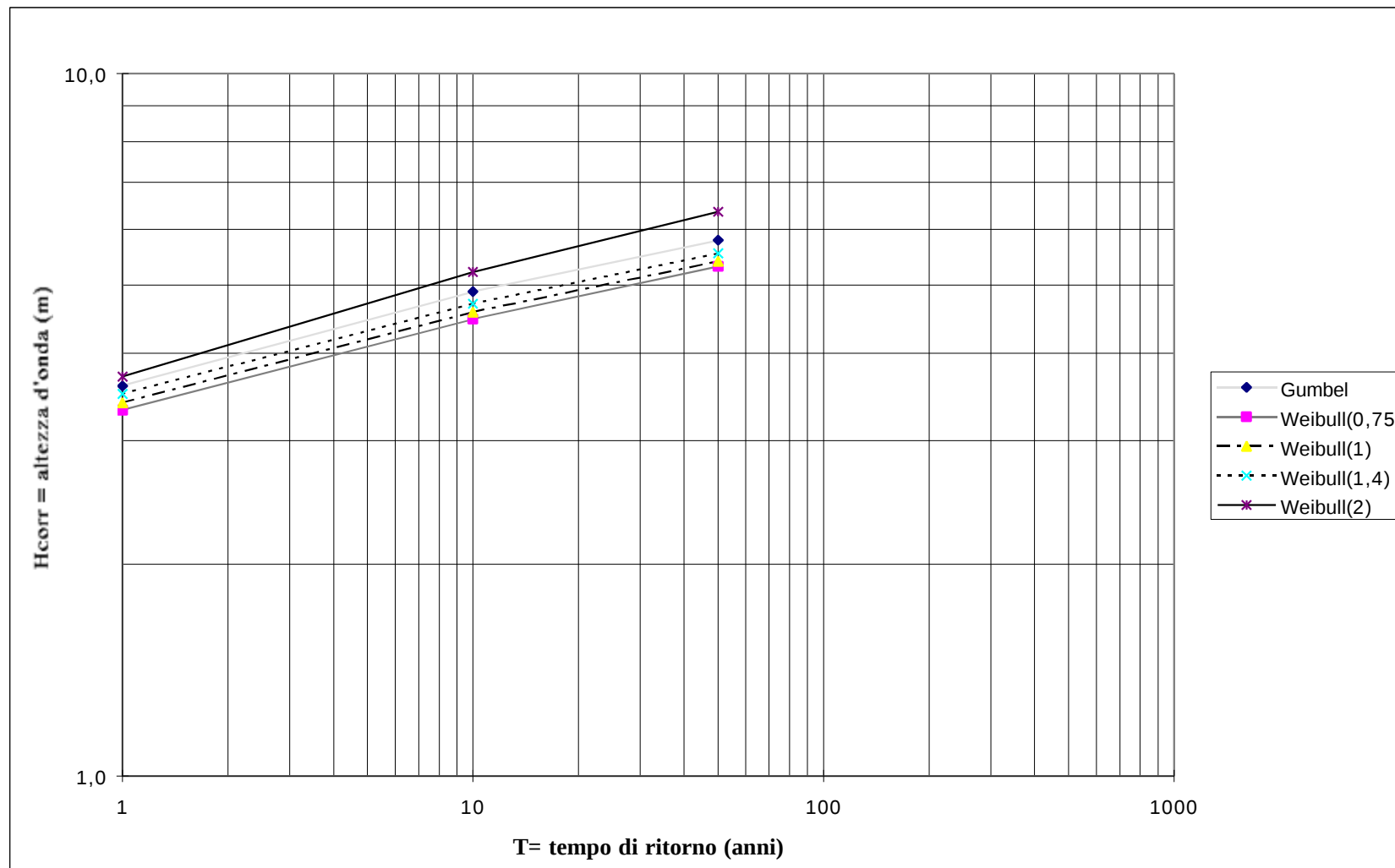


Figura 4.2.16 – Andamento grafico ($H_{corretta}$ -tempo di ritorno) per le cinque leggi di distribuzione probabilistica esaminate - Dati della piattaforma dell'A.P.I.

4.3) Determinazione dell'altezza d'onda di progetto da considerare nel dimensionamento di eventuali opere di difesa costiera

Sulla base delle raccomandazioni riportate sulle “*Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti*” (1994) viene illustrata la seguente procedura, predisposta quale schema di calcolo, adatta a determinare le caratteristiche al largo dell'altezza d'onda di progetto da considerare nel dimensionamento di eventuali strutture di difesa costiera lungo il litorale marchigiano.

Per ogni opera marittima si valutano la durata di vita presunta (T_v), in relazione al progetto in cui essa è inserita e tenuto conto delle sue caratteristiche funzionali, ed il livello di rischio o probabilità di superamento dell'onda di progetto (P_f), tenuto conto dei danni che tali onde possono arrecare all'opera e della possibilità di ripristinare la normale funzionalità con operazioni di manutenzione.

Per opere di protezione costiera di infrastrutture di uso generale, adottando un livello di sicurezza pari ad 1, richiesto per opere di interesse locale, comportanti un rischio minimo di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso della stessa, si può fissare a 25 anni la cosiddetta vita presunta (T_v), cioè la durata minima della vita per un'opera di carattere definitivo.

In relazione alle deformazioni-modificazioni che può subire l'opera in caso di danneggiamento ed alla difficoltà di ripristino si assumono diverse probabilità di danneggiamento ammissibile (livello di rischio, detto anche probabilità di incontro, P_f) nel periodo di vita operativa dell'opera. Infatti per un'opera rigida, non modificabile né riparabile facilmente, si considera la probabilità di distruzione totale. Invece per un'opera flessibile (come del tipo di quelle a scogliera o della maggior parte delle opere di protezione costiera) e comunque riparabile a seguito di un suo eventuale danneggiamento parziale, si considera appunto la probabilità corrispondente al livello di danneggiamento incipiente, al di sopra del quale il danno è apprezzabile e può essere eliminato con un intervento di manutenzione. Per tali opere del tipo flessibile si deve comunque verificare anche lo scenario di rovina totale, cioè del superamento di un livello di danneggiamento, predefinito in relazione al tipo di struttura, al di sopra del quale l'opera cessa di svolgere un'apprezzabile funzione protettiva. Il livello di rischio dipende anche da valutazioni di carattere generale sulle ripercussioni che un eventuale danno può comportare sul piano economico e di rischio per la vita umana.

Nel caso in esame si assumono ragionevolmente una ripercussione economica media ed un rischio limitato per la vita umana, a cui corrisponde un valore di P_f pari a 0,15 e a 0,30 rispettivamente per un'opera non riparabile (o per il caso limite di rovina totale di un'opera flessibile) e per il solo danneggiamento di quella flessibile del tipo a scogliera.

La combinazione del tempo di vita T_v e della probabilità di danneggiamento P_f conduce alla determinazione del tempo di ritorno dell'evento di progetto T_{rp} secondo l'espressione:

$$T_{rp} = \frac{T_v}{-\ln(1 - P_f)}$$

Una volta calcolato tale tempo di ritorno di progetto, dalla statistica degli eventi estremi, adottando per ciascun settore direzionale la legge con migliore coefficiente di correlazione, si ottengono i valori di progetto della altezza d'onda al largo, come descritto nel precedente paragrafo 4.2). Successivamente è possibile determinare, dalla statistica altezza-periodo, sempre per ciascun settore direzionale di provenienza ondosa, i relativi periodi ondosi più probabili, secondo quanto descritto nel paragrafo 4.1).

Le onde così valutate hanno approssimativamente la probabilità P_f di essere superate nell'arco della vita presunta T , dell'opera.

I risultati di questi calcoli, applicati utilizzando le risultanze dell'analisi degli estremi dei dati del K.N.M.I. "Settore italiano", sono riassunti negli schemi che seguono:

- nel caso di *DANNO DI OPERA RIGIDA (oppure ROVINA TOTALE DI OPERA FLESSIBILE)*:

con $T = 25$ anni e $P_f = 0.15$ si ottiene $T_{rp} = 154$ anni;

da cui, per i vari settori direzionali, risulta:

settore direzionale di provenienza	H_s (m) (dal paragrafo 4.2)	T_s più probabile (s) (dal paragrafo 4.1)
295°N-330°N	6.5	7.4
330°N-75°N	7.5	9.0
75°N-110°N	5.7	8.7
110°N-150°N	7.3	11.1

- nel caso di *OPERA FLESSIBILE DANNEGGIATA IN MODO RIPARABILE*:

con $T = 25$ anni e $P_f = 0.30$ si ottiene $T_{rp} = 70$ anni;

da cui, per i vari settori direzionali, risulta:

settore direzionale di provenienza	H_s (m) (dal paragrafo 4.2)	T_s più probabile (s) (dal paragrafo 4.1)
295°N-330°N	5.7	7.1
330°N-75°N	6.8	8.8
75°N-110°N	5.2	8.5
110°N-150°N	6.6	10.7

5) MISURE DI MOTO ONDOSO DELLA BOA APPARTENENTE ALLA RETE ONDAMETRICA NAZIONALE (R.O.N.) AL LARGO DI ANCONA

Dati strumentali affidabili e completi del moto ondoso nelle acque profonde dei mari costieri italiani sono rilevati, sistematicamente a partire dalla metà del 1989, dalle boe ondamiche direzionali della Rete Ondametrica Nazionale gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale del Dipartimento dei Servizi Tecnici Nazionali della Presidenza del Consiglio dei Ministri.

Il sistema di rilevamento del moto ondoso della Rete Ondametrica Nazionale è configurato in otto stazioni di misura (solo recentemente, dallo scorso mese di marzo 1999, estese a dieci con l'istallazione di due nuovi siti ondametrici tra cui proprio quello di Ancona, unico nell'Adriatico centro-settentrionale, l'altro è quello di Cetraro) su fondali di circa 100 metri, con le relative stazioni riceventi a terra, distribuite per coprire buona parte dei mari costieri italiani.

La Rete Ondametrica Nazionale è operativa dal 1 luglio 1989 e nei primi 6 anni e mezzo ha avuto un rendimento globale di dati validi rilevati superiore al 90%, che rappresenta un ottimo risultato. Ciò permette di disporre di una notevole quantità di dati affidabili ed acquisiti ormai già da un discreto numero di anni, anche se ancora non proprio sufficienti per una buona statistica di lungo termine. I periodi di interruzione delle registrazioni sono dovuti a malfunzionamento delle apparecchiature del sistema di registrazione o al disancoraggio delle boe per cause esterne (soprattutto al passaggio di pescherecci).

La strumentazione di misura si basa su boe ondamiche direzionali del tipo *Wavec* (le prime otto) e *Directional Waverider* (le due più recenti) della ditta *Datawell* (Haarlem, Olanda).

Nel mare Adriatico sono localizzate le stazioni al largo di Pescara-Ortona e Monopoli (oltre appunto al nuovo sito al largo di Ancona).

L'ondametro *Directional Waverider* di Ancona è stato varato inizialmente il 4 febbraio 1999 ed è stato posto su una profondità di 55 metri, circa 15 miglia marine ad Est del porto di Ancona, in posizione di coordinate geografiche 43°51'30"N-13°51'04"E, dove ha funzionato fino al maggio 2000. Poi è stato poi spostato sulla profondità di 70 metri, in prossimità dell'isola artificiale Clara Ovest della società AGIP, circa 15 miglia marine a NordNordEst dal porto di Ancona, in posizione di coordinate geografiche 43°49,78'N-13°42,77'E per ovviare al problema del frequente disancoraggio della boa riscontrato nel sito precedente. Tali posizioni sono illustrate nella Figura 5.1.

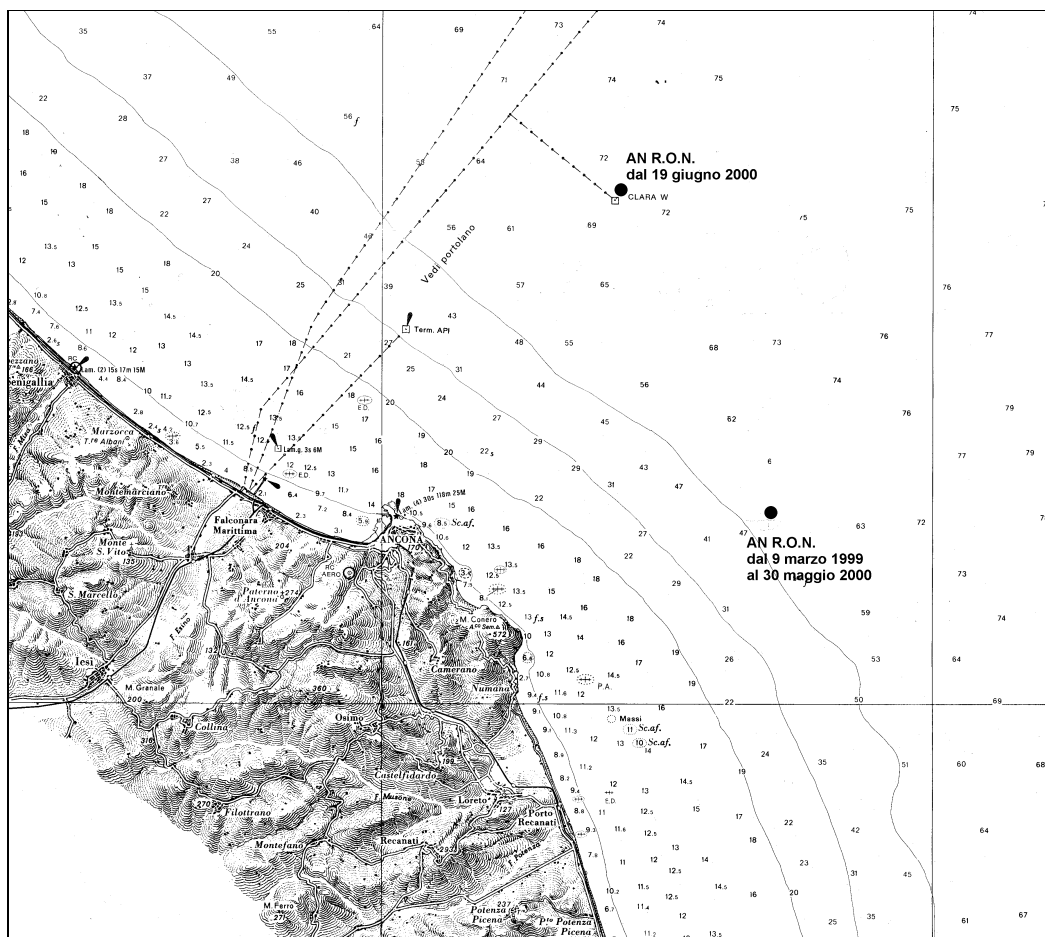


Figura 5.1 – Posizione del sito di ancoraggio e rilevamento dati della boa ondometrica della R.O.N. al largo di Ancona

Le registrazioni disponibili vanno dal 9 marzo 1999 (inizio delle registrazioni) fino all'11 agosto 2000 (ultimo dato disponibile all'atto delle presenti elaborazioni). Durante il periodo ci sono stati 5 intervalli senza registrazioni (il più lungo è stato dal 22 maggio 1999 al 19 giugno 2000 a causa dello spostamento della stazione di misura). I principali dati statistici disponibili sono quelli dell'altezza d'onda significativa, del periodo di picco, del periodo medio e della direzione media delle onde. Essi vengono calcolati su misure rilevate per 30 minuti, raggruppate in 9 serie di 200 secondi. Vengono registrati su base trioraria (cioè un dato completo di caratteristiche ondose ogni tre ore). I dati statistici disponibili sono 3622 di cui 3556 relativi alle misure triorarie (4170 dati a disposizione nell'intero periodo quindi con una percentuale di funzionamento dell' 85%). Tra tutti i dati triorari quelli con altezza significativa superiore a 1 metro sono 563, mentre la soglia dei 2 metri viene superata 104 volte. Oltre questo valore di altezza la boa registra in continuo (un dato dello stato di mare ogni 30 minuti) in modo tale da avere le registrazioni continue complete degli eventi di maggiore intensità. Dall'esame dell'insieme dei dati statistici triorari si ricava che nell'intero periodo di funzionamento della boa sono stati rilevati 72 eventi, di diversa durata, in cui

le onde hanno raggiunto almeno un metro di altezza significativa (14 di essi hanno raggiunto 1,5 m).

Nella Figura 5.2 viene riportato il grafico dell'andamento cronologico dell'altezza d'onda significativa misurata dalla boa di Ancona nell'anno e mezzo di dati a disposizione.

Il grafico della Figura 5.3 riporta invece l'andamento cronologico del valore dell'altezza d'onda significativa media mensile per tutto il periodo sopra indicato.

Nella Figura 5.4 l'andamento cronologico dell'altezza d'onda significativa viene riportato in scala trimestrale per poter meglio individuare i periodi in cui le misure sono state interrotte.

Si nota che il mese con altezza media più alta è novembre (140 cm), che generalmente il valore medio della altezza significativa si mantiene sopra i 60 cm da settembre fino a marzo, e che quasi sempre le medie mensili si mantengono sopra i 40 cm.

Nella Tabella 5.1 è raccolta la distribuzione della frequenza percentuale dei 3556 dati ondosi statistici trionari registrati dalla boa *Directional Waverider* al largo di Ancona per classi di altezza significativa e di direzione media totale della componente spettrale di picco. Analogamente gli stessi dati della boa sono raccolti nella Tabella 5.2 secondo la distribuzione della frequenza percentuale per classi di altezza d'onda significativa e di periodo di picco. Ovviamente si possono raccogliere i dati secondo i legami dell'altezza d'onda significativa con gli altri tipi di direzioni di provenienza e di periodi ondosi ottenibili dai dati statistici.

Nella Figura 5.5 si presenta il grafico della distribuzione direzionale di frequenza del moto ondoso misurato dalla boa al largo di Ancona. Dall'analisi di questo grafico si può facilmente notare che i settori direzionali regnanti per l'intera serie di tutti i dati sono soprattutto quelli intorno al Maestrale ed allo Scirocco, cioè quelli posti lungo la direzione più lunga dell'Adriatico.

Per quanto riguarda le onde di eventi intensi nella Figura 5.6 si riporta il grafico di confronto della distribuzione direzionale di frequenza del moto ondoso misurato dalla stessa boa per tutti i dati statistici trionari (3556 valori) con quelli con altezza significativa superiore ad 1 metro (563 dati) e ancora con quei dati trionari con altezza significativa di almeno 2 metri (104 dati), mentre vengono trascurati i 15 dati con altezza superiore a 3 metri in quanto non significativi per la loro bassissima frequenza. Dall'analisi di quest'ultimo grafico si possono facilmente notare le caratteristiche direzionali dominanti, le cui frequenze si accentuano ulteriormente per le serie dei dati ondosi più alti. Infatti per quelli con altezze maggiori di un metro aumentano decisamente le frequenze dai mari nord-orientali e si perde una parte della frequenza di quelli da Scirocco. Per i dati più alti di 2 metri si nota che aumentano ulteriormente le frequenze dei settori da Greco-Tramontana ed anche da Scirocco-Levante, mentre la frequenza dalle altre direzioni diminuisce e, in qualche caso, tende addirittura a scomparire.

Per quanto riguarda i dati ondosi rilevati dalla boa raggruppati negli eventi di mareggiata,

nella Tabella 5.3 è riportato l'elenco dei principali 14 di essi in cui l'altezza d'onda significativa massima ha superato i 2 metri, considerando mareggiate quegli eventi in cui l'altezza d'onda significativa si è mantenuta superiore ad 1,5 metri per una durata non inferiore a 12 ore. Sono stati inoltre riportati l'indicazione dell'ora di inizio evento (considerato a partire da quando l'altezza d'onda significativa rilevata dalla boa supera il valore di un metro), l'ora della sua fine, la durata della mareggiata (in cui l'altezza d'onda significativa si mantiene sopra ad un metro), il valore massimo dell'altezza d'onda significativa, il valor medio delle direzioni medie delle componenti spettrali di picco ed il settore direzionale di provenienza media dell'evento ondoso.

I dati ondosi statistici disponibili trionfari registrati dalla boa della R.O.N. al largo di Ancona sono stati elaborati per calcolare anche il flusso di energia, per metro di lunghezza di cresta, ad essi associato. I valori ottenuti, suddivisi per classi di altezza d'onda significativa e di direzione (media totale della componente spettrale di picco), e quelli dell'energia annuale sono riportati nella Tabella 5.4. Nella Tabella 5.5 la stessa distribuzione è rappresentata in valori percentuali e nella Figura 5.7 è riportato l'istogramma delle distribuzioni delle frequenze percentuali dei dati ondosi e del relativo flusso di energia per classi di altezza d'onda. Risulta evidente ad esempio che l'intero insieme dei dati più frequenti, cioè quelli della classe di altezze d'onda inferiori, mentre è nettamente la più numerosa (53% circa del totale) contribuisce solo in una minima parte (6,5% circa) al contenuto energetico del moto ondoso. Risultano invece più importanti per l'energia del moto ondoso le classi di altezze d'onda attorno ad 1, 2 e 3 metri, pur se molto meno frequenti.

Nella Figura 5.8 è riportata la distribuzione direzionale (direzione media totale della componente spettrale di picco) delle frequenze percentuali dei dati e dei corrispettivi valori del flusso di energia di tutti i dati ondosi trionfari. Nelle Figure 5.9 e 5.10 infine la stessa rappresentazione viene ripetuta limitatamente ai soli dati che superano le soglie rispettivamente di 1 e 2 metri.

Il calcolo della quantità di energia media annuale delle onde per unità di lunghezza di cresta può essere eseguito secondo procedimenti differenti.

Il primo (CR1) muove dalla conoscenza della densità di probabilità $p(H_S = h)$ del processo $H_S(t)$ ed ha il pregio di fornire un'espressione analitica per l'energia media annuale (lavoro):

$$E = \int_0^{\infty} P(h) \cdot p(h) \cdot dh \cdot t$$

dove $P(h)$ è il flusso medio di energia di uno stato di mare con $H_S=h$ (espresso nella forma $P(H_S=h)=0.056 \cdot r \cdot g^{1.5} \cdot H_S^{2.5}$ nel caso di validità dello spettro *JoNSWaP* medio), il termine $p(h) \cdot dh \cdot t$ è

l'intervallo di tempo medio, durante t , in cui l' H_S risulta compresa tra h e $h+dh$ e t è il periodo di un anno.

Il secondo (CR2) invece procede dall'analisi diretta dei dati ondametrici ed ha il pregio di fornire una stima più accurata, infatti utilizza i due parametri H_S e T_E , invece della sola H_S utilizzata dal primo. In pratica se definiamo il periodo dell'energia T_E ($= T_{-1,0} = m_{-1}/m_0$) come il periodo medio ottenuto dal rapporto tra i momenti spettrali di ordine -1 e di ordine 0 , allora il flusso medio di energia (potenza) per metro di lunghezza di cresta di uno stato di mare vale

$$P(H_S, T_E) = \frac{rg^2}{4p} T_E \frac{H_s^2}{16} = \frac{rg^2}{64p} T_E H_s^2$$

Di conseguenza, disponendo di un numero N sufficientemente grande di registrazioni (stati di mare) triorarie, si perviene alla stima diretta dell'energia annuale media (lavoro) mediante la relazione:

$$E = \frac{t}{N} \sum_{i=1}^N P(H_{S_i}, T_{E_i})$$

Questa espressione è rigorosa solo se le registrazioni vengono effettuate con cadenza costante (per tale motivo si elaborano solo i dati triorari).

In questa sede viene usato il secondo procedimento che si basa sul calcolo del flusso medio di energia (potenza) mediante la sua espressione più generale, senza cioè l'ipotesi (molto restrittiva) per esempio dello spettro *JoNSWaP* medio.

Tali calcoli sono stati effettuati sui dati ondosi triorari delle due serie rilevate al largo di Ancona.

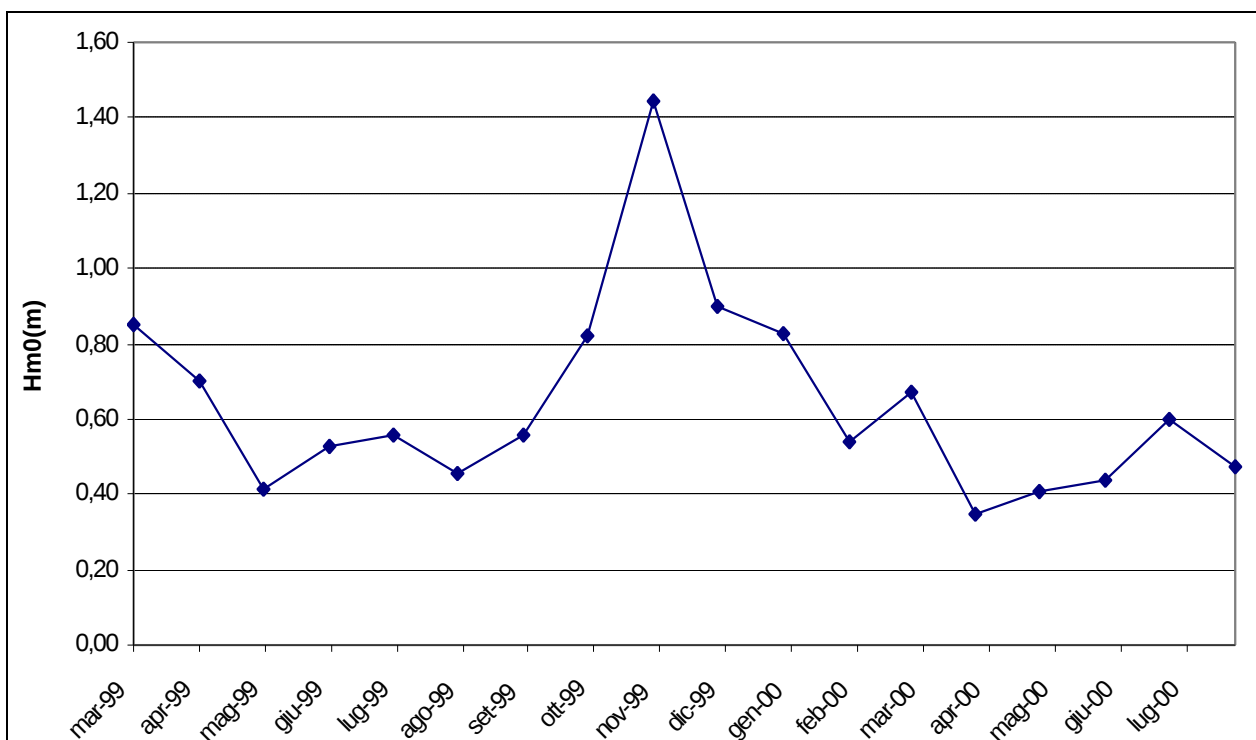


Figura 5.2 – Andamento cronologico dell'altezza d'onda significativa media mensile rilevata dalla boa ondometrica della R.O.N. al largo di Ancona da marzo 1999 ad agosto 2000

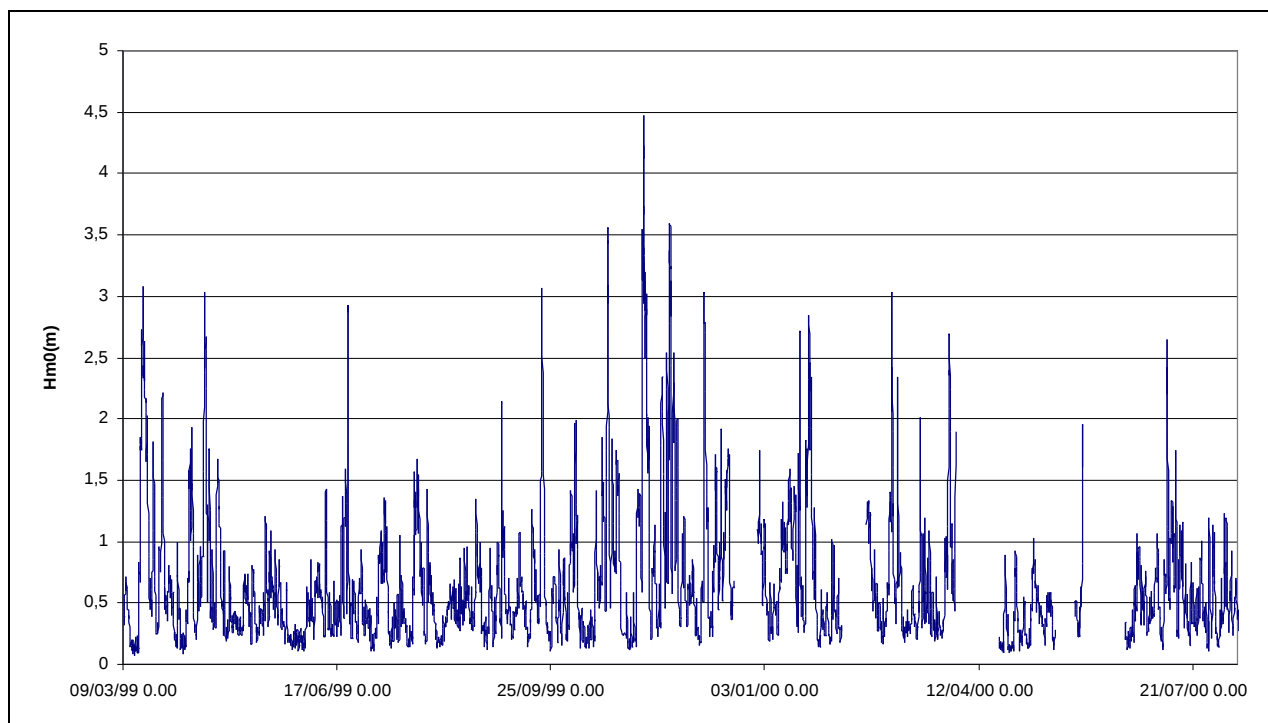


Figura 5.3 – Andamento cronologico dell'altezza d'onda significativa rilevata al largo di Ancona da marzo 1999 ad agosto 2000

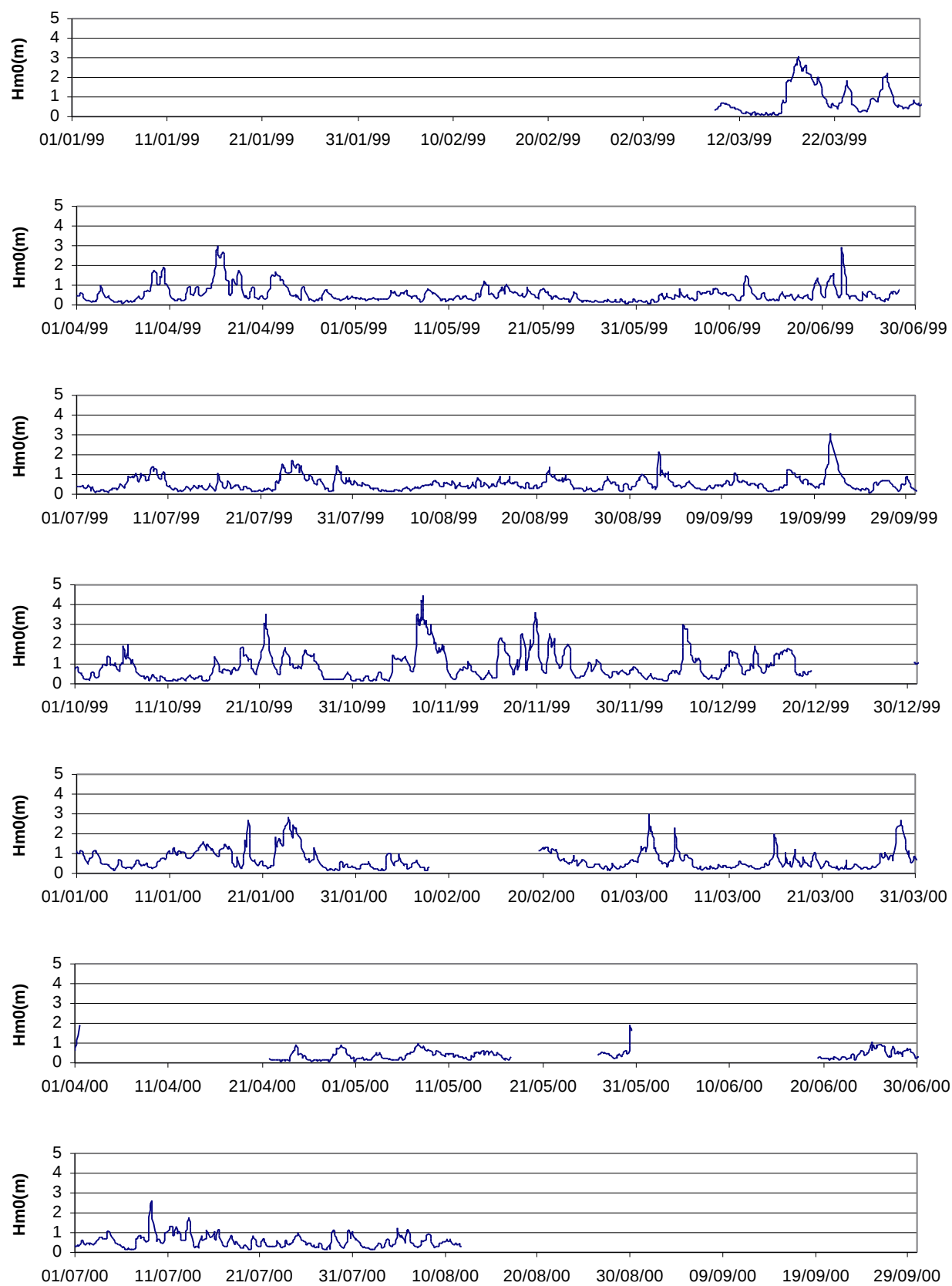


Figura 5.4 – Andamento cronologico trimestrale dell'altezza d'onda significativa rilevata al largo di Ancona da marzo 1999 ad agosto 2000

Tabella 5.1 – Distribuzione della frequenza percentuale per classi di altezza d'onda significativa e settori di direzione media totale della componente spettrale di picco dei 3566 dati ondosi trionari registrati dalla boa della R.O.N. al largo di Ancona da marzo 1999 ad agosto 2000

DMP (gradi Nord)	Hm0 (metri)											TOTALE
	0,0 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0	3,0 - 3,5	3,5 - 4,0	4,0 - 4,5	4,5 - 5,0	>5,0	
345 - 15	5,62	3,85	1,12	0,76	0,34	0,11	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	11,84
15 - 45	2,22	2,78	1,43	0,79	0,45	0,34	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	8,10
45 - 75	1,63	1,83	0,79	0,48	0,25	0,00	0,11	0,03	0,03	0,00	0,00	5,15
75 - 105	3,85	3,52	1,29	0,34	0,11	0,14	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	9,28
105 - 135	13,81	7,51	1,49	0,48	0,25	0,14	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	23,76
135 - 165	7,03	2,73	0,06	0,08	0,06	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	10,01
165 - 195	2,81	0,65	0,03	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,57
195 - 225	0,87	0,22	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,18
225 - 255	0,93	0,28	0,11	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,35
255 - 285	2,76	1,04	0,45	0,08	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,36
285 - 315	4,87	3,68	1,52	0,28	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,38
315 - 345	6,21	3,46	0,98	0,17	0,14	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,02
TOTALE	52,62	31,55	9,31	3,60	1,63	0,87	0,34	0,06	0,03	0,00	0,00	100,00

Tabella 5.2 – Distribuzione della frequenza percentuale per classi di altezza d'onda significativa e di periodo di picco dei 3556 dati ondosi trionari registrati dalla boa della R.O.N. al largo di Ancona da marzo 1999 ad agosto 2000

TP1 (sec)	Hm0 (metri)											TOTALE
	0,0 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0	3,0 - 3,5	3,5 - 4,0	4,0 - 4,5	4,5 - 5,0	>5,0	
0,0 - 2,0	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31
2,0 - 2,5	2,90	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,92
2,5 - 3,0	8,10	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,44
3,0 - 3,5	7,37	2,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,51
3,5 - 4,0	8,38	6,83	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,33
4,0 - 4,5	4,61	6,21	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,73
4,5 - 5,0	3,63	7,42	2,11	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,22
5,0 - 5,5	2,11	3,99	1,74	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,07
5,5 - 6,0	2,31	2,25	1,83	0,93	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,37
6,0 - 6,5	1,91	0,96	1,46	0,90	0,42	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,68
6,5 - 7,0	1,15	0,53	0,65	0,82	0,37	0,22	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	3,80
7,0 - 7,5	1,66	0,25	0,48	0,45	0,48	0,25	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	3,66
7,5 - 8,0	1,35	0,28	0,03	0,20	0,20	0,20	0,03	0,06	0,03	0,00	0,00	2,36
8,0 - 8,5	0,96	0,14	0,00	0,03	0,03	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	1,24
8,5 - 9,0	3,09	0,11	0,00	0,00	0,08	0,08	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	3,40
9,0 - 9,5	2,53	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67
9,5 - 10	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25
> 10	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
TOTALE	52,62	31,55	9,31	3,60	1,63	0,87	0,34	0,06	0,03	0,00	0,00	100,00

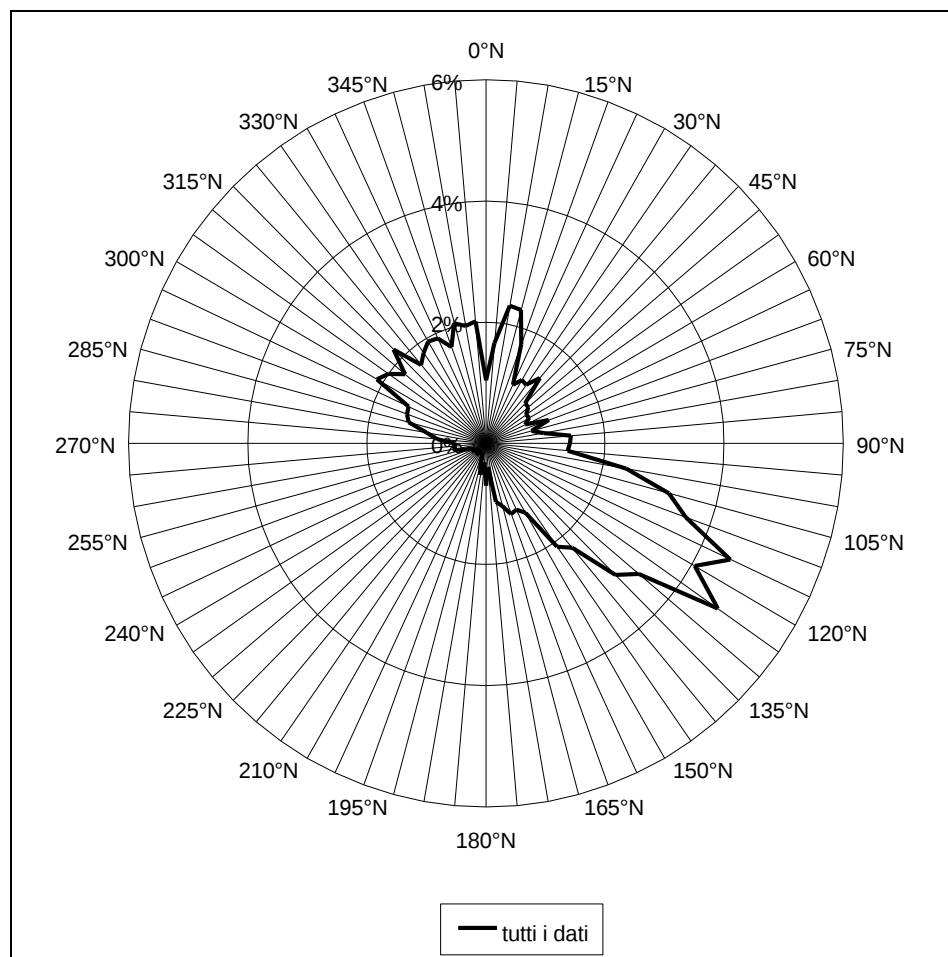


Figura 5.5 – Distribuzione direzionale (direzione media totale della componente spettrale di picco) delle frequenze percentuali dei 3566 dati ondosi triorari registrati dalla boa della R.O.N. al largo di Ancona da marzo 1999 ad agosto 2000

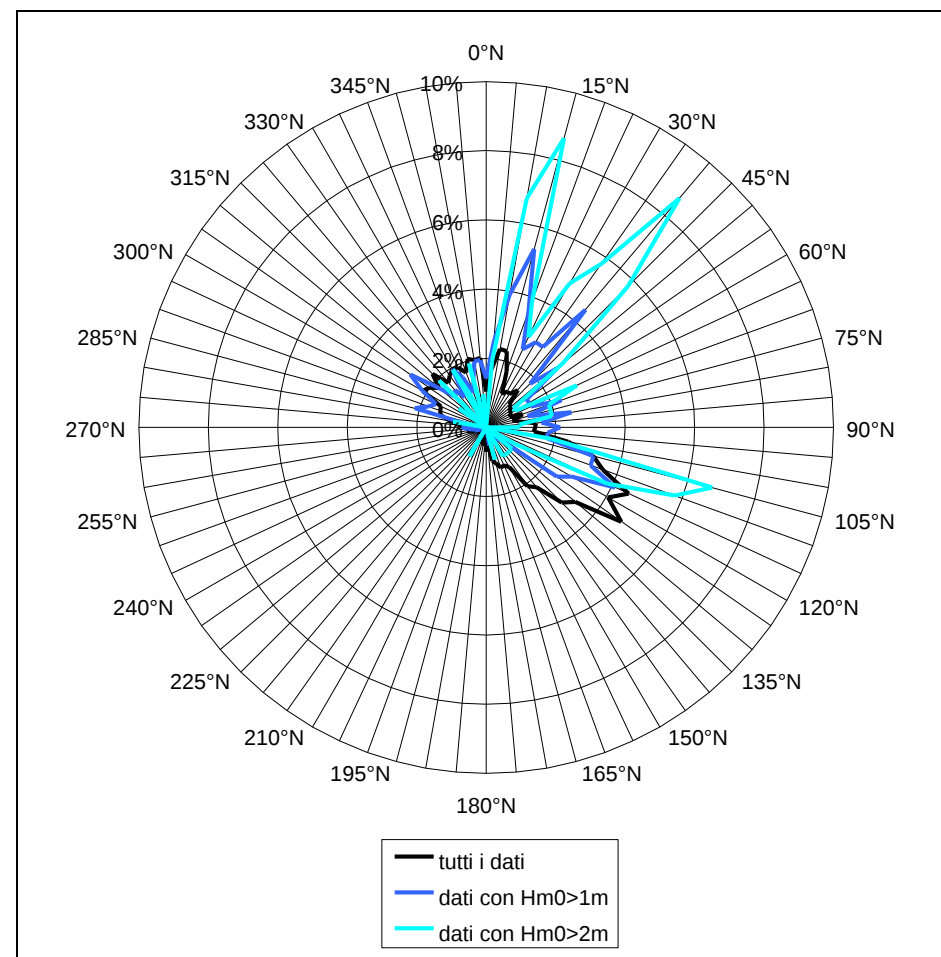


Figura 5.6 - Distribuzione direzionale (direzione media totale della componente spettrale di picco) delle frequenze percentuali di tutti i dati ondosi triorari, dei 563 dati con $H_s > 1\text{m}$ e dei 104 dati con $H_s > 2\text{m}$ registrati dalla boa della R.O.N. al largo di Ancona da marzo 1999 ad agosto 2000

Tabella 5.3 - Mareggiate con altezza significativa $H_{m0(max)} \geq 2m$ rilevati dalla boa della R.O.N. al largo di Ancona. Si considerano mareggiate tutti gli eventi ondosi che presentano un'altezza significativa superiore a 1,5 metri per una durata non inferiore a 12 ore. L'altezza di soglia per l'inizio e la fine dell'evento ondoso è stata assunta pari ad 1 metro

Inizio	Fine	Durata (ore)	Hm0max (m)	Dmp media (°N)	Settore di provenienza
16/03/1999 Ore 21.30	20/03/1999 Ore 21.30	96	3,08	23,39	NNE
26/03/1999 Ore 15.30	28/03/1999 Ore 6.30	39	2,21	106,5	ESE
15/04/1999 Ore 6.30	17/04/1999 Ore 9.30	51	3,03	98,68	E
20/09/1999 Ore 6.30	21/09/1999 Ore 3.30	21	3,07	94,6	E
20/10/1999 Ore 18.30	22/10/1999 Ore 15.30	45	3,55	104,4	ESE
06/11/1999 Ore 18.30	10/11/1999 Ore 6.30	84	4,47	62,86	ENE
15/11/1999 Ore 15.30	17/11/1999 Ore 3.30	36	2,34	39,88	NE
18/11/1999 Ore 0.30	20/11/1999 Ore 9.30	57	3,59	339,1	N
21/11/1999 Ore 0.30	22/11/1999 Ore 6.30	30	2,30	44,217	NE
05/12/1999 Ore 12.30	07/12/1999 Ore 12.30	48	3,02	24,1	NNE
18/01/2000 Ore 21.30	19/01/2000 Ore 18.30	21	2,71	33,51	NNE
22/01/2000 Ore 3.30	25/01/2000 Ore 9.30	78	2,85	38,22	NE
01/03/2000 Ore 9.30	03/03/2000 Ore 9.30	48	3,02	60,9	ENE
28/03/2000 Ore 15.30	30/03/2000 Ore 12.30	45	2,68	116,9	ESE

Tabella 5.4 – Distribuzione delle frequenze assolute del flusso di energia per classi di altezza d'onda significativa e settori di direzione media totale della componente spettrale di picco dei 3566 dati ondosi trionari registrati dalla boa della R.O.N. al largo di Ancona da marzo 1999 ad agosto 2000 e valore annuale dell'energia per metro di lunghezza di cresta d'onda

DMP (gradi Nord)	Hm0 (metri)											TOTALE
	0,0 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0	3,0 - 3,5	3,5 - 4,0	4,0 - 4,5	4,5 - 5,0	>5,0	
345 - 15	1770,47	7499,94	8033,62	17618,85	15366,86	9630,22	2972,59	0,00	0,00	0,00	0,00	62892,55
15 - 45	1582,46	10267,18	19777,74	22825,20	23414,16	28155,93	11455,23	0,00	0,00	0,00	0,00	117477,90
45 - 75	789,15	6036,90	10344,44	12690,63	15454,56	0,00	13874,59	5070,16	6611,15	0,00	0,00	70871,57
75 - 105	2444,81	12517,98	16872,20	8793,73	1203,51	10172,89	4257,66	0,00	0,00	0,00	0,00	56262,78
105 - 135	7810,97	21434,17	16814,93	12303,04	13357,04	10461,96	6896,83	4725,83	0,00	0,00	0,00	93804,73
135 - 165	3427,96	5543,49	559,71	1329,06	2995,32	2746,62	4090,35	0,00	0,00	0,00	0,00	20692,51
165 - 195	1330,50	954,82	384,88	2850,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5520,73
195 - 225	309,72	400,75	0,00	778,10	1418,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2906,81
225 - 255	305,84	189,08	471,70	599,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1566,56
255 - 285	1510,38	2072,49	4337,72	5987,65	1658,17	2515,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18081,98
285 - 315	3776,38	12187,37	17872,50	6943,23	0,00	2511,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43290,64
315 - 345	4530,29	12837,00	12044,70	4901,83	6232,15	1960,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42506,61
TOTALE	29588,96	91941,14	107514,20	97621,78	81100,02	68154,98	43547,25	9795,99	6611,15	0,00	0,00	535875,30

Numero totale dei dati (solo trionari) utilizzati per costruire la tabella:

2710

Intervalli scelti

DMP(° Nord) 0 - 360

Hm0(m) 0 - 100

TP1(s) 0 - 100

Intervallo temporale (mmgg-aa)

04-01-99 03-31-00

gg 338,75

Potenza(Kgm/s/m) 535875,30

somma delle potenze (flusso di energia) di tutti gli stati di mare dell'intervallo temporale scelto

Energia(Kgm/m) 5787453240

energia di tutti gli stati di mare dell'intervallo temporale scelto in Kgm per metro di lunghezza di cresta

Energia(Kwh/m) 17188,75331

energia di tutti gli stati di mare dell'intervallo temporale scelto in Kwh per metro di lunghezza di cresta

Energia(Kwh/anno/m) 18520,72313

energia annuale in Kwh per metro di lunghezza di cresta

Tabella 5.5 – Distribuzione della frequenza percentuale del flusso di energia per classi di altezza d'onda significativa e settori di direzione media totale della componente spettrale di picco dei 3566 dati ondosi trionari registrati dalla boa della R.O.N. al largo di Ancona da marzo 1999 ad agosto 2000

DMP (gradi Nord)	Hm0 (metri)											TOTALE
	0,0 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0	3,0 - 3,5	3,5 - 4,0	4,0 - 4,5	4,5 - 5,0	>5,0	
345 - 15	0,40	1,59	1,44	3,06	2,52	1,58	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	11,07
15 - 45	0,34	1,98	3,39	3,91	3,83	4,61	1,88	0,00	0,00	0,00	0,00	19,93
45 - 75	0,19	1,21	1,91	2,20	2,53	0,00	2,27	0,83	1,08	0,00	0,00	12,22
75 - 105	0,50	2,45	2,91	1,56	0,96	2,08	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	11,15
105 - 135	1,80	4,88	3,57	2,51	2,70	2,07	1,13	0,77	0,00	0,00	0,00	19,44
135 - 165	0,86	1,28	0,09	0,37	0,49	0,45	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	4,22
165 - 195	0,34	0,30	0,06	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,17
195 - 225	0,09	0,14	0,03	0,13	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62
225 - 255	0,10	0,13	0,23	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56
255 - 285	0,34	0,63	0,82	1,10	0,27	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,57
285 - 315	0,71	2,31	3,08	1,14	0,00	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,66
315 - 345	0,91	2,52	2,22	0,80	1,25	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
TOTALE	6,57	19,43	19,76	17,34	14,79	12,30	7,13	1,60	1,08	0,00	0,00	100,00

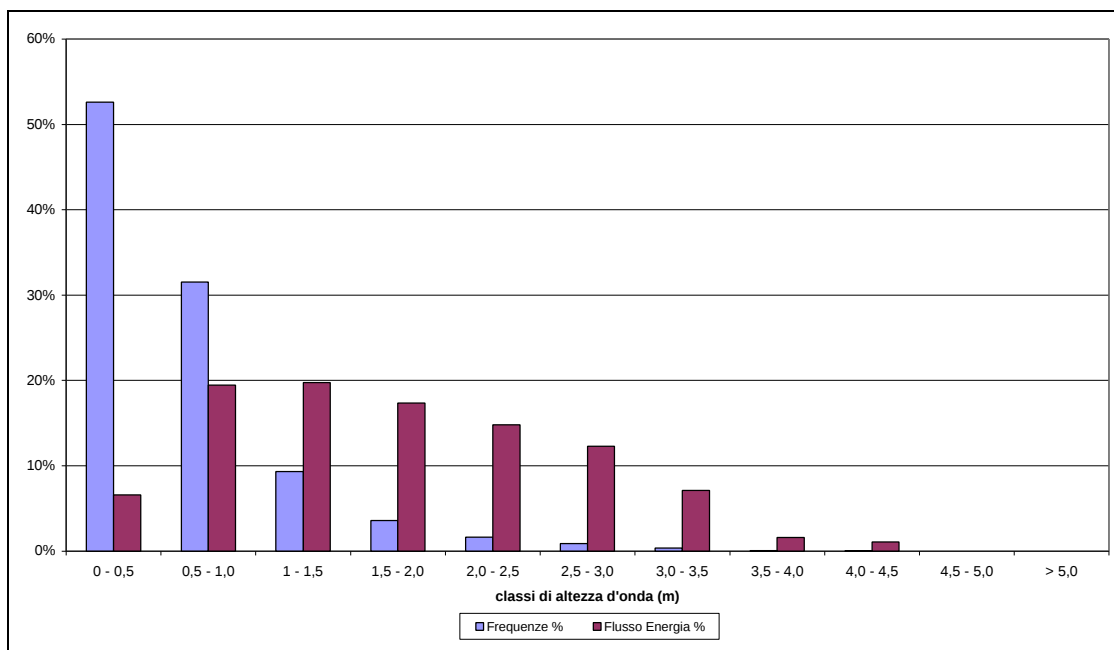


Figura 5.7 – Distribuzione delle frequenze percentuali dei dati ondosi e del flusso di energia per classi di altezza d'onda significativa dei 3566 dati ondosi triorari registrati dalla boa della R.O.N. al largo di Ancona da marzo 1999 ad agosto 2000

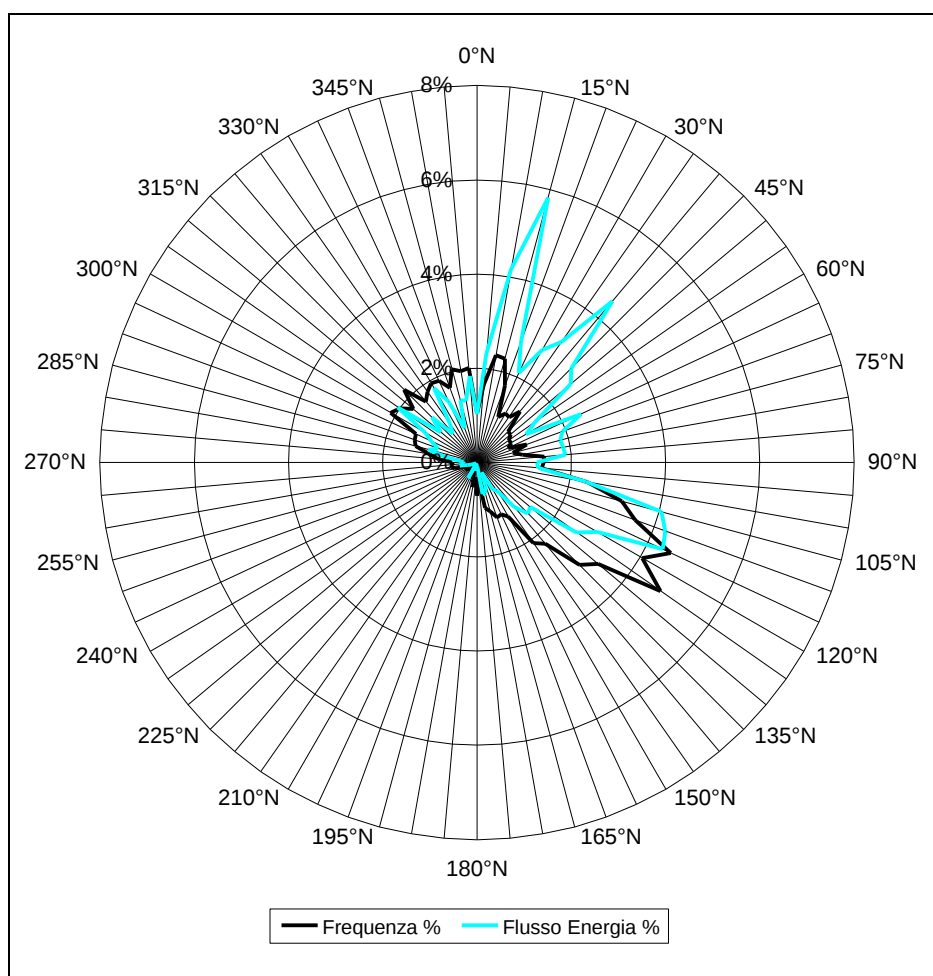


Figura 5.8 – Distribuzione direzionale (direzione media totale della componente spettrale di picco) delle frequenze percentuali dei 3566 dati ondosi triorari registrati dalla boa della R.O.N. al largo di Ancona da marzo 1999 ad agosto 2000 e dei corrispettivi valori del flusso di energia

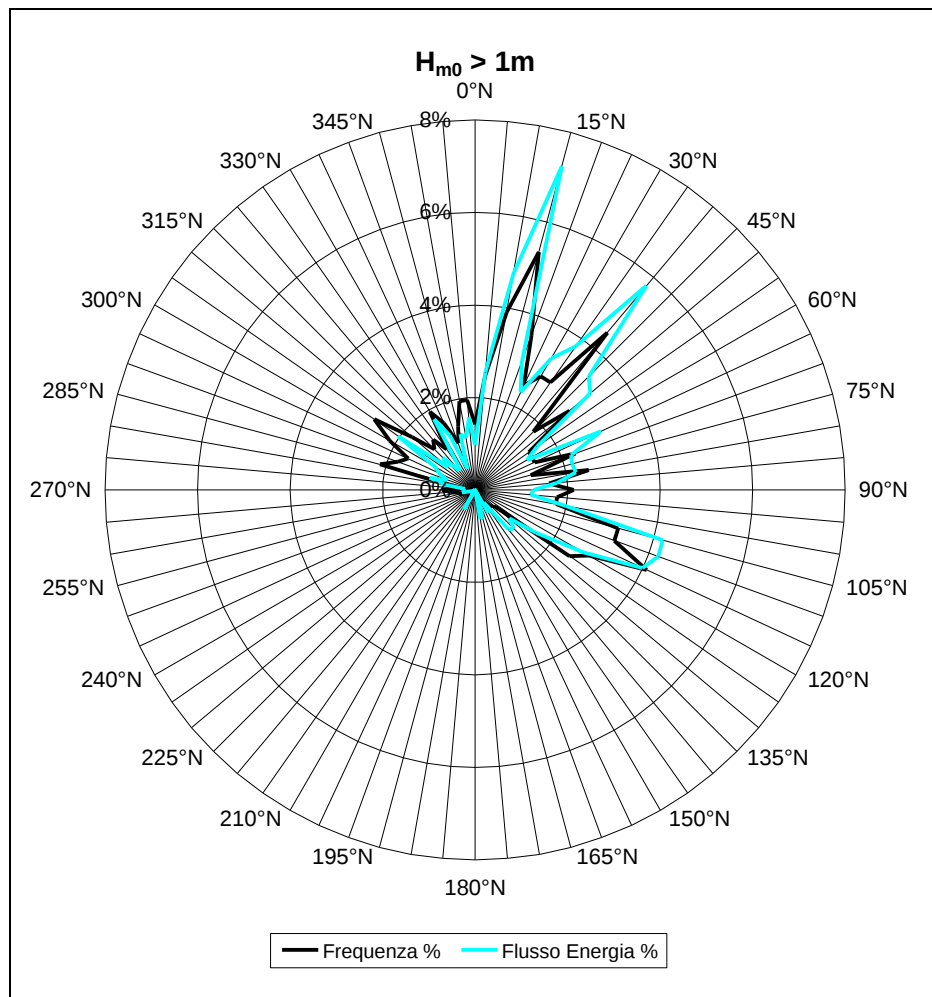


Figura 5.9 – Distribuzione direzionale (direzione media totale della componente spettrale di picco) delle frequenze percentuali dei 563 dati ondosi trionari con $H_{m0} > 1m$ registrati dalla boa della R.O.N. al largo di Ancona da marzo 1999 ad agosto 2000 e del corrispettivo flusso di energia

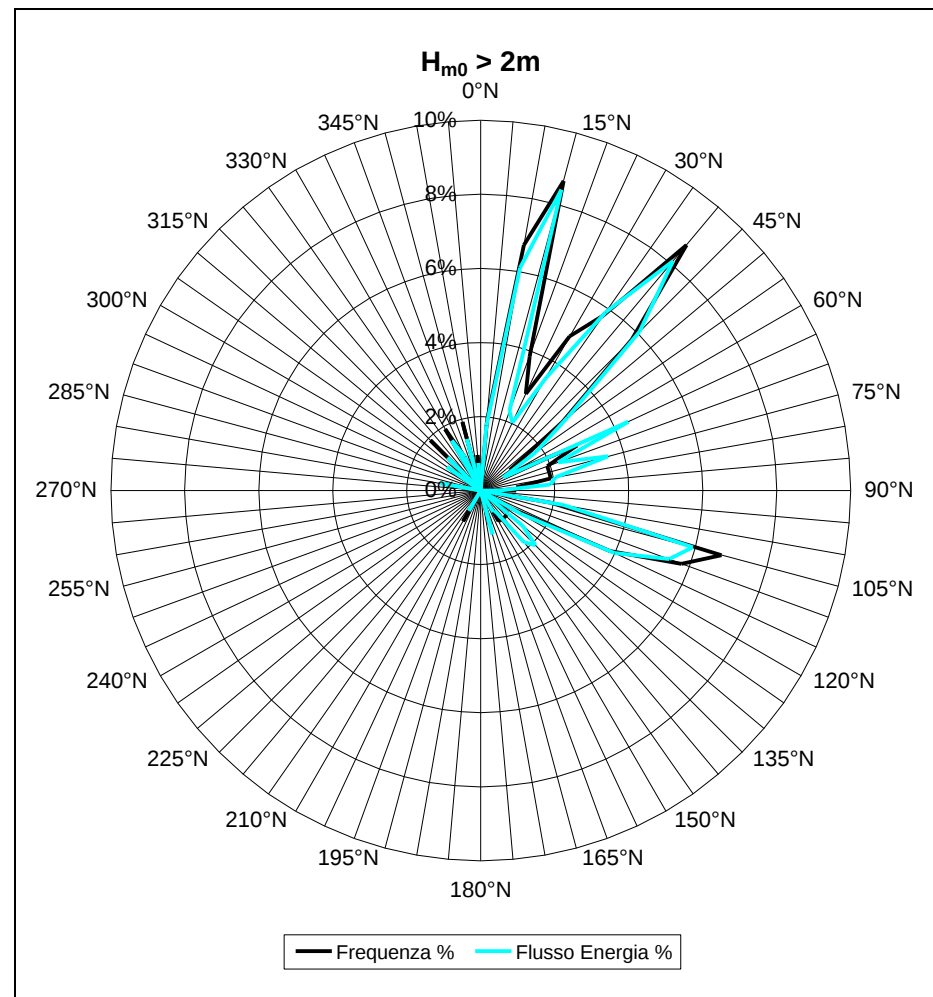


Figura 5.10 – Distribuzione direzionale (direzione media totale della componente spettrale di picco) delle frequenze percentuali dei 104 dati ondosi trionari con $H_{m0} > 2m$ registrati dalla boa della R.O.N. al largo di Ancona da marzo 1999 ad agosto 2000 e del corrispettivo flusso di energia

5.1) Confronto tra i rilievi ondametrici di moto ondoso

Le diverse serie dei dati di moto ondoso elaborate e descritte nei precedenti paragrafi, pur non essendo omogenei tra loro, sono state poste a confronto nelle figure che seguono. Le indicazioni ricavabili da tali confronti presentano quindi una valenza qualitativa.

Nella Figura 5.1.1 è riportata la distribuzione delle frequenze percentuali secondo le classi della direzione media della componente spettrale di picco per tutti i dati ondosi registrati al largo di Ancona dalla boa della R.O.N. attualmente funzionante e da quella che ha funzionato nel periodo 1989-90. Nella Figura 5.1.2 lo stesso confronto è fatto per i soli dati con $H_S > 1\text{m}$.

Nelle Figure 5.1.3, 5.1.4 e 5.1.5, adottando una distribuzione secondo una diversa suddivisione dei dati in settori angolari, i dati delle due boe che hanno registrato al largo di Ancona sono stati confrontati anche con quelli del K.N.M.I. "settore italiano" e con quelli della boa della R.O.N. al largo di Pescara. Sulle figure sono riportati i confronti rispettivamente per tutti i dati delle quattro serie, per quelli con $H_S > 1\text{m}$ e per quelli per $H_S > 2\text{m}$.

Per i dati registrati dalle due boe al largo di Ancona si sono potuti raffrontare anche i corrispettivi valori dell'energia. Tali quantità di energia ottenute dalle registrazioni nei due diversi periodi di osservazione, riportate al periodo annuale, si discostano notevolmente tra loro: si passa dai 12890,55 KWh/m della boa *Wavec* nel 1989-1990 ai 18520,72 KWh/m della boa della R.O.N. nel 1999-2000. Probabilmente il dato attualmente più veritiero ed affidabile è il secondo, infatti la campagna di misure del periodo '89-'90 presenta più intervalli privi di registrazioni, quindi mancano anche molti dati di flusso di energia, il che può parzialmente invalidare i valori energetici generali.

Il fatto poi che il valore ottenuto per il 1999-2000 sia molto simile ai livelli di energia calcolati per le altre stazioni dell'Adriatico della R.O.N. (Pescara e Monopoli) potrebbe confermare tale supposizione, anche se bisogna tenere conto che queste due boe funzionano ininterrottamente dal 1989 (media annuale calcolata su 10 anni di misure), mentre la boa di Ancona è stata attivata nel 1999 (i dati disponibili sono di circa un anno).

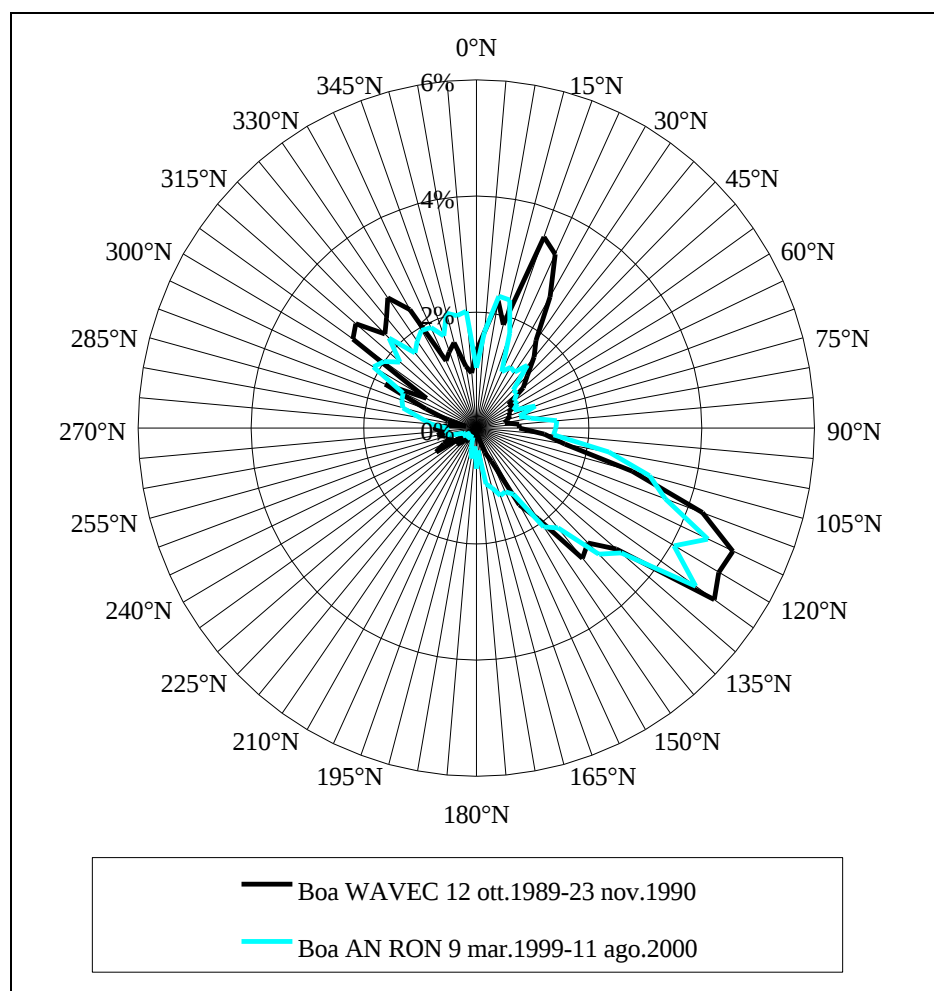


Figura 5.1.1 – Confronto fra le distribuzioni direzionali (direzione media totale della componente spettrale di picco) delle frequenze percentuali di tutti i dati ondosi triorari registrati al largo di Ancona dalla boa Wavec nel 1989-90 e dalla boa della R.O.N. nel 1999-2000

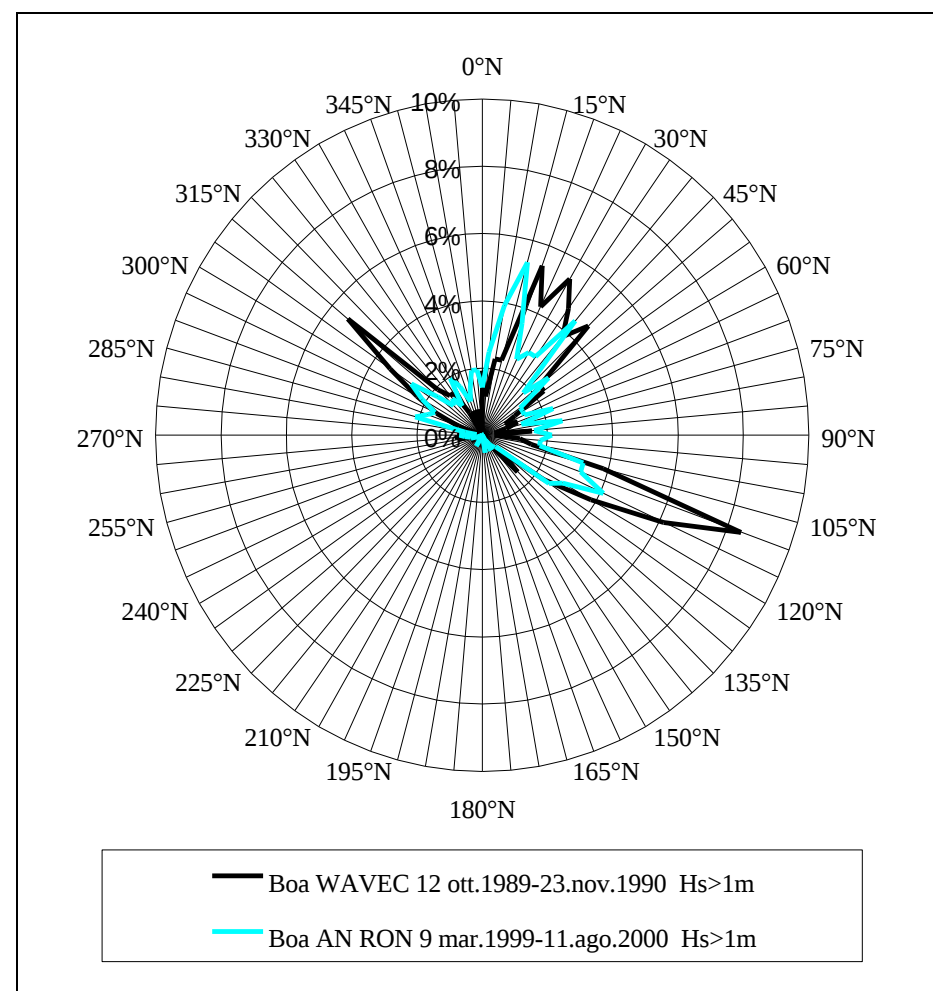


Figura 5.1.2 – Confronto fra le distribuzioni direzionali (direzione media totale della componente spettrale di picco) delle frequenze percentuali dei dati ondosi triorari con altezza significativa maggiore di un metro registrati al largo di Ancona dalla boa Wavec nel 1989-90 e dalla boa della R.O.N. nel 1999-2000

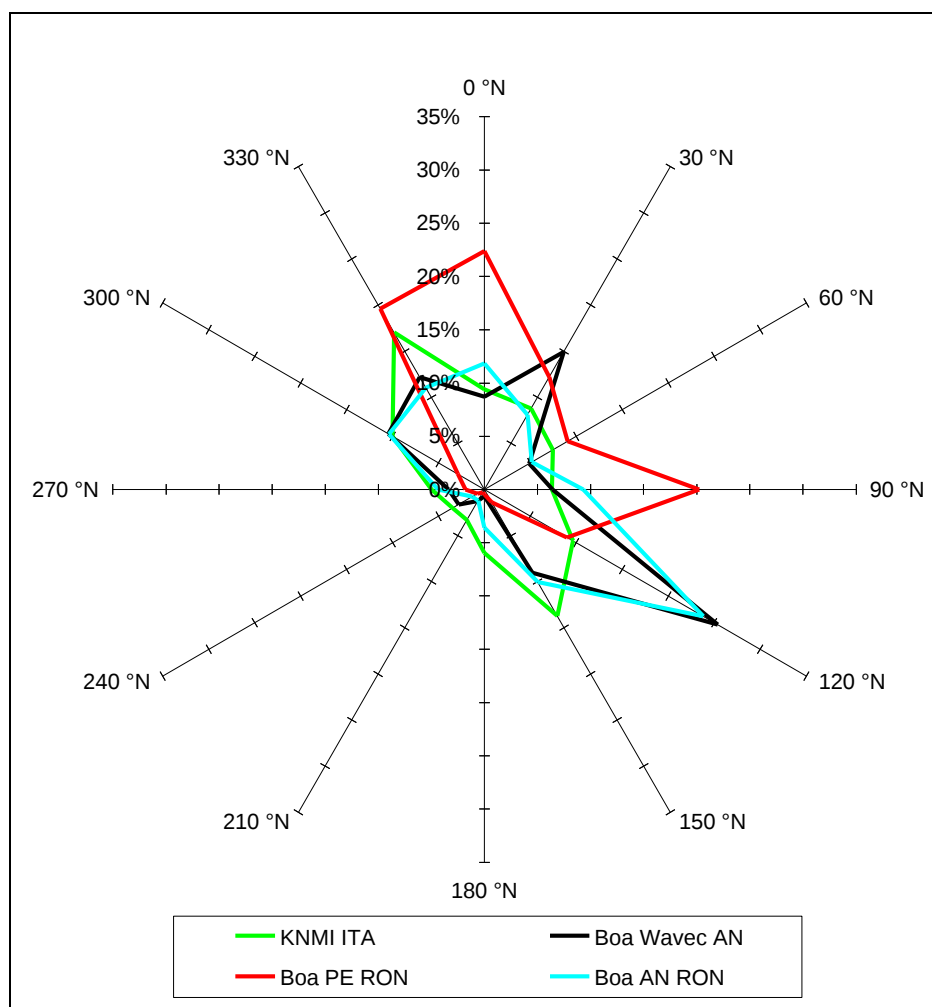


Figura 5.1.3 – Confronto fra le distribuzioni direzionali delle frequenze percentuali dei dati ondosi triorari registrati dal K.N.M.I. “settore italiano”, dalla boa di Pescara della R.O.N., dalla boa Wavec di Ancona e dalla boa di Ancona della R.O.N. nei rispettivi periodi di misure

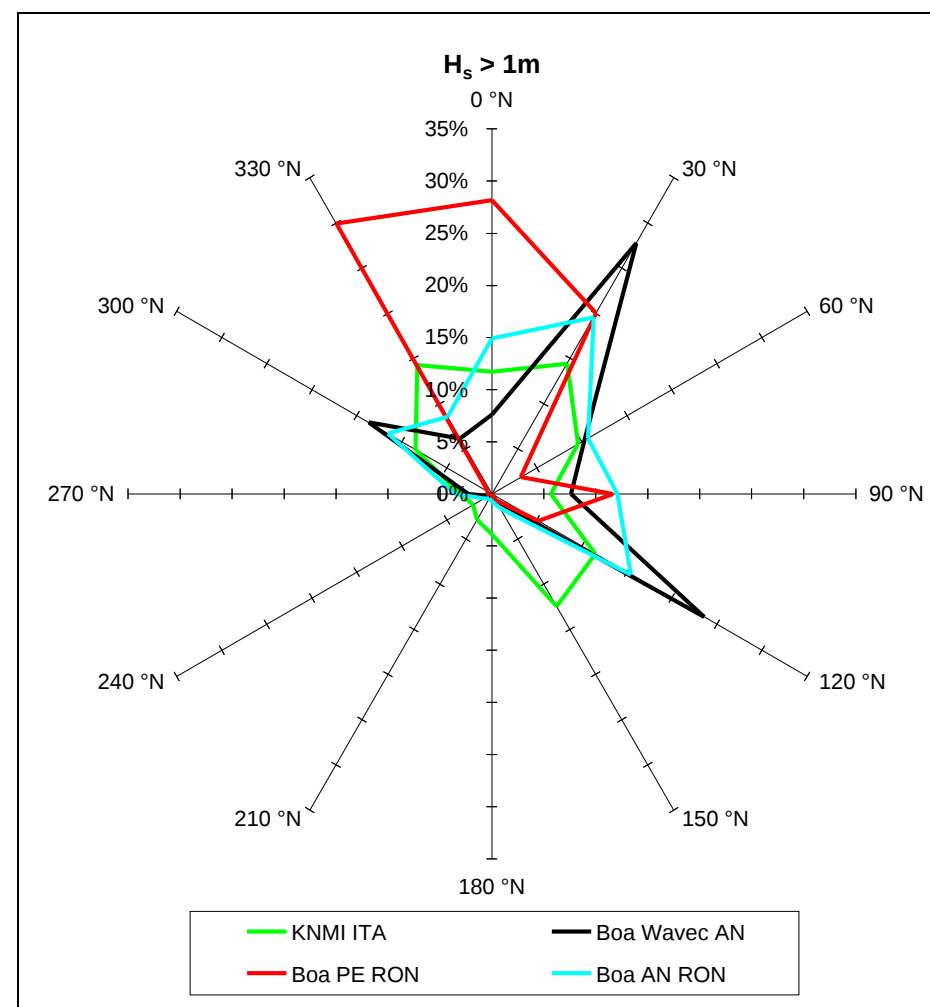


Figura 5.1.4 – Confronto fra le distribuzioni direzionali delle frequenze percentuali dei dati ondosi triorari con $H_s > 1\text{m}$ registrati dal K.N.M.I. “settore italiano”, dalla boa di Pescara della R.O.N., dalla boa Wavec di Ancona e dalla boa di Ancona della R.O.N. nei rispettivi periodi di misure

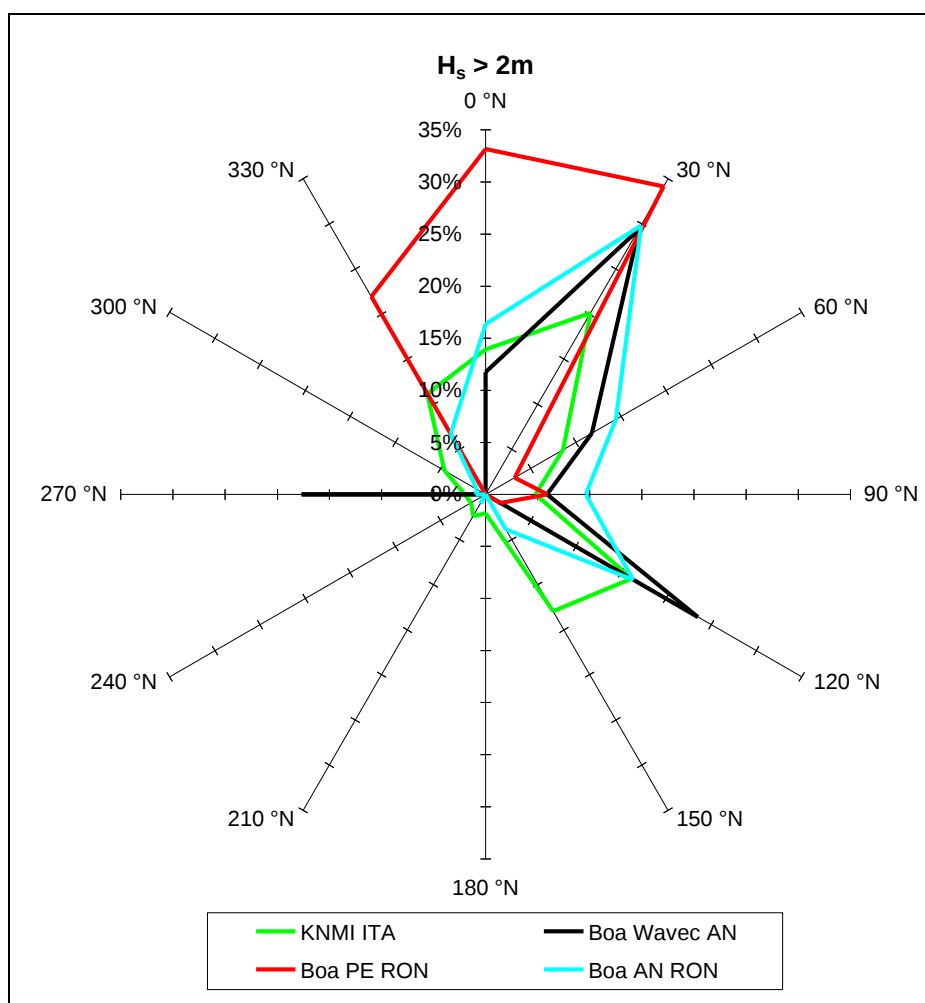


Figura 5.1.5 – Confronto fra le distribuzioni direzionali delle frequenze percentuali dei dati ondosi trionfari con $H_s > 2m$ registrati dal K.N.M.I. “settore italiano”, dalla boa di Pescara della R.O.N., dalla boa Wavec di Ancona e dalla boa di Ancona della R.O.N. nei rispettivi periodi di misure

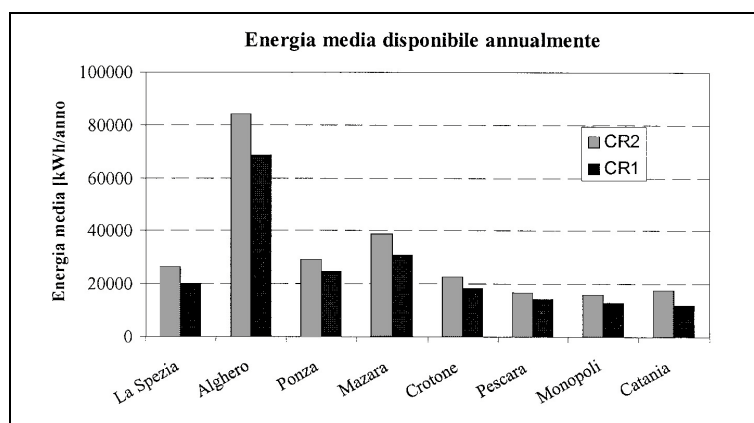
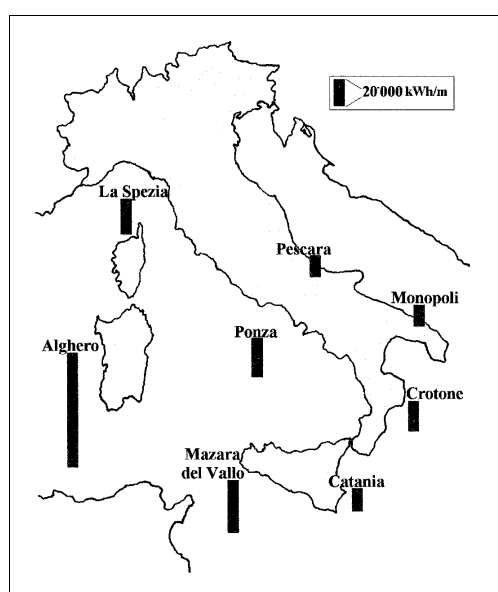


Figura 5.1.6 – Energia annuale media per alcune località italiane (la Figura di destra riporta i risultati dei calcoli dell'energia annuale media con i metodi CR1 e CR2)

6) ANALISI DEI VALORI ESTREMI PER I DATI RILEVATI DALLA BOA DIRECTIONAL WAVERIDER AL LARGO DI ANCONA NEL PERIODO 1999-2000

6.1) Individuazione delle mareggiate e dei dati per le elaborazioni degli eventi estremi

La conoscenza dell'andamento cronologico dei dati statistici delle altezze significative e delle direzioni di propagazione del moto ondoso dalla serie dei dati, come quelli rilevati nell'annata di osservazione 1999-2000, ha consentito di individuare gli eventi ondosi più intensi.

Si possono individuare 72 eventi ondosi, di diversa durata, in cui le onde hanno raggiunto almeno un metro di altezza significativa.

Nella Tabella 6.1 è riportato l'elenco dei (35) maggiori eventi ondosi, rilevati dalla boa *Directional Waverider*, in cui l'altezza significativa ha raggiunto 1,5 metri, con l'indicazione dell'ora di inizio dell'evento (considerato a partire da quando il valore di altezza d'onda significativa rilevato dalla boa *Directional Waverider* supera il valore di un metro), la durata dell'evento ondoso (considerata come quella in cui l'altezza significativa si mantiene al di sopra di un metro), il valore massimo dell'altezza d'onda significativa registrata dalla boa ed il settore direzionale di provenienza dell'evento ondoso in corrispondenza della sua massima intensità, riportando tra parentesi anche gli altri settori entro cui la direzione di provenienza stessa può aver eventualmente fluttuato nel corso della durata dell'ondazione.

Tra questi eventi ondosi quelli in cui l'altezza significativa si è mantenuta al di sopra di 1,5 metri per almeno 12 ore sono considerati aventi le caratteristiche di "mareggiate". Tra esse ne sono state selezionate 14 in cui la stessa altezza significativa al picco dell'intensità ondosa dell'evento ha raggiunto almeno i due metri. Questi sono contraddistinti con un asterisco nella Tabella 6.1 e sono quelli già riportati in elenco a parte nella precedente Tabella 5.3.

Sui dati registrati sono state eseguite due tipi di elaborazioni.

La prima riguarda la statistica dei valori estremi delle H_s . In pratica i valori di altezza significativa massima di ciascuno degli eventi ondosi indipendenti in cui si è superata la soglia di un metro di altezza significativa sono stati utilizzati per effettuare l'analisi statistica degli eventi ondosi estremi (o meglio delle altezze d'onda estreme).

Successivamente sono determinate le "mareggiate triangolari equivalenti" ai 14 eventi reali di "mareggiata" (ed anche a quelli dei rilievi ondametrici al largo di Ancona del 1989-90) secondo un procedimento proposto da Boccotti. Con i valori risultanti sono stati effettuati i calcoli per determinare la stima dei tempi di ritorno delle singole mareggiate e della loro persistenza media.

Tabella 6.1 – Caratteristiche principali degli eventi ondosi con $H_s > 1.5$ m, rilevati al largo di Ancona dalla boa Directional Waverider della R.O.N. dal 9 Marzo 1999 all' 11 Agosto 2000

Inizio dell'evento	Durata dell'evento (ore)	H_s massima raggiunta (m)	Settore di provenienza
21.30 del 16 Marzo 1999 (*)	96	3.08	NE (NNE)
21.30 del 22 Marzo 1999	21	1.81	NO (O)
15.30 del 26 Marzo 1999 (*)	39	2.21	ESE
21.30 dell'8 Aprile 1999	45	1.93	E
6.30 del 15 Aprile 1999 (*)	51	3.03	E
15.30 del 17 Aprile 1999	27	1.75	ESE (NO)
18.30 del 21 Aprile 1999	42	1.67	ESE
9.30 del 20 Giugno 1999	54	1.97	O (NO)
21.30 del 22 Luglio 1999	66	1.67	NNE
0.30 del 2 Settembre 1999	30	2.12	NNE (NE)
6.30 del 20 Settembre 1999 (*)	21	3.07	ESE (ENE)
18.30 del 5 Ottobre 1999	39	1.99	NE (O)
15.30 del 18 Ottobre 1999	36	1.85	ENE (NE)
18.30 del 20 Ottobre 1999 (*)	45	3.55	SE (NNE)
6.30 del 23 Ottobre 1999	24	1.84	SSE (ENE)
12.30 del 25 Ottobre 1999	39	1.73	ENE
18.30 del 6 Novembre 1999 (*)	84	4.47	E (NE)
15.30 del 15 Novembre 1999 (*)	36	2.34	NE (NNO)
0.30 del 18 Novembre 1999 (*)	57	3.59	N (NO)
0.30 del 21 Novembre 1999 (*)	30	2.54	NNO (E)
15.30 del 22 Novembre 1999	24	2.00	NNO
12.30 del 5 Dicembre 1999 (*)	48	3.02	NNE
18.30 del 10 Dicembre 1999	33	1.71	ONO (E)
9.30 del 13 Dicembre 1999	15	1.91	NO
0.30 del 15 Dicembre 1999	69	1.76	N (E)
15.30 del 30 Dicembre 1999	48	1.74	NNO
15.30 del 13 Gennaio 2000	54	1.59	ONO
21.30 del 18 Gennaio 2000 (*)	21	2.71	NNE
3.30 del 22 Gennaio 2000 (*)	78	2.85	NNE (E)
9.30 dell'1 Marzo 2000 (*)	48	3.02	NNE (E)
0.30 del 5 Marzo 2000	21	2.34	ENE
15.30 del 15 Marzo 2000	15	2.01	E
15.30 del 28 Marzo 2000 (*)	45	2.68	ESE
21.30 dell'8 Luglio 2000	21	2.65	O
0.30 del 13 Luglio 2000	15	1.74	N

6.2) Analisi delle altezze d'onda estreme per i dati rilevati al largo di Ancona nel 1999-2000

La conoscenza dell'andamento cronologico delle altezze d'onda rilevate dalla stazione di misura nell'anno di osservazione 1999-2000 ha permesso di individuare i valori massimi di eventi indipendenti, elaborati statisticamente con il metodo P.O.T. (elaborazione dei valori estremi per le serie tronche), attraverso il quale è stato possibile ottenere la legge probabilistica per l'estrapolazione dei massimi annuali di altezza d'onda. È chiaro che questa elaborazione effettuata ha solo intenti dimostrativi poiché la limitatezza del periodo di osservazione e registrazione delle misure ondametricha rende la stima soltanto indicativa. Inoltre per aumentare la dimensione del campione delle serie trovate è stato necessario fissare il valore della soglia di troncamento dell'elaborazione con il metodo P.O.T. ad 1,5 metri di altezza significativa, che è un valore relativamente basso. La descrizione del procedimento utilizzato per l'analisi statistica degli eventi estremi è riportata per esteso nel capitolo 4.2 della presente Relazione.

Per il calcolo del valore estremo con fissato tempo di ritorno si sono elaborati separatamente i dati ondosi compresi nei seguenti settori direzionali: 280°N – 350°N, 350°N – 75°N, 75°N – 170°N (compresi nella traversia del paraggio costiero marchigiano), selezionando all'interno di ciascun intervallo gli eventi indipendenti di altezza superiore ad un metro. L'elaborazione degli estremi per le serie tronche è stata ripetuta anche per il campione dei dati interamente disponibile indipendente dal settore di provenienza (cioè per i dati omnidirezionali).

In sintesi i dati sperimentali sono stati interpolati utilizzando la legge probabilistica di Gumbel e la distribuzione di Weibull a 3 parametri, scegliendo quella che forniva la migliore regressione. I dati (x_m) sono stati ordinati in senso decrescente ed è stato loro assegnato un numero d'ordine per il calcolo della frequenza cumulata e della variabile ridotta (y_m) ad essa associata. L'espressione utilizzata per determinare la variabile ridotta è legata alla scelta della distribuzione di probabilità ed assume la forma:

$$\text{per la legge di Gumbel} \quad y_m = -\ln[-\ln(FC)]$$

$$\text{per la legge di Weibull a 3 parametri} \quad y_m = [\ln(FC)]^{1/c}$$

dove FC è la frequenza cumulata e c è il fattore di forma che assume i valori: 0,75 - 1 - 1,4 - 2.

Poiché esiste la relazione lineare tra le variabili ordinate e le variabili ridotte

$$x_m = A y_m + B$$

si è potuto interpolare i dati con il metodo dei minimi quadrati per stimare i parametri di scala e locale A e B , riportati nella legge analitica di regressione.

Per tali operazioni le espressioni utilizzate hanno assunto praticamente la forma seguente:

$$H = A \cdot y_t + B$$

dove la variabile ridotta, nel caso dell'elaborazione della serie trunca di dati estremi indicata con y_t , è legata al tempo di ritorno dalle relazioni:

$$\text{per la legge di Gumbel} \quad y_t = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{lT} \right) \right]$$

$$\text{per la legge di Weibull a 3 parametri} \quad y_t = [\ln(lT)]^{1/c}$$

dove T è il tempo di ritorno e l è il rapporto tra il numero totale dei dati del campione ed il numero di anni di osservazione.

I valori di H sono stati poi corretti per tener conto dell'eventuale errore sistematico associato alla stima del valore estremo, che si ottiene quando non è nota l'esatta consistenza e distribuzione dell'intera popolazione da cui il campione viene estratto.

Nelle Figure da 6.1 a 6.8 sono rappresentate le distribuzioni dei punti sperimentali interpolati con la retta di regressione determinata utilizzando le leggi probabilistiche di Gumbel e di Weibull (con i quattro diversi valori del parametro c). L'andamento dell'altezza d'onda corretta in funzione del tempo di ritorno è stato ottenuto, utilizzando le varie distribuzioni probabilistiche, per ogni settore direzionale individuato ed anche per l'insieme dell'intera serie dei dati estremi indipendentemente dalla direzione di provenienza. Sui vari grafici oltre alla forma analitica delle varie leggi probabilistiche è stato riportato anche il relativo valore del coefficiente di regressione necessario per poter valutare la distribuzione probabilistica che offre il migliore adattamento al campione dei dati sperimentali elaborati.

Dalle elaborazioni sui dati relativi ad ogni settore direzionale considerato è possibile calcolare le altezze d'onda estreme con qualsiasi assegnato tempo di ritorno. Nella Tabella 6.2 sono stati riportati i valori delle altezze d'onda ottenute per i tempi di ritorno pari a 5, 10, 20, 50, 100, 200, 300, 500, 1000 anni e le leggi di distribuzione probabilistica utilizzate.

Le precedenti elaborazioni dei valori (di altezza d'onda) estremi sono state ripetute per le stesse suddivisioni in settori direzionali anche per i dati ondosi rilevati sempre al largo di Ancona dalla boa ondometrica *Wavec* nel periodo 1989-1990. Nelle Figure 6.9, 6.10, 6.11 e 6.12 è riportato il confronto tra gli andamenti delle altezze d'onda estreme relative alla distribuzione probabilistica che meglio interpreta i dati sperimentali rispettivamente delle due serie di valori appartenenti ai periodi di osservazione del 1989-1990 e del 1999-2000 (sia per quelli rientranti nei tre diversi settori direzionali individuati compresi nella traversia che per quelli omnidirezionali) ottenute nel paraggio marino di Ancona.

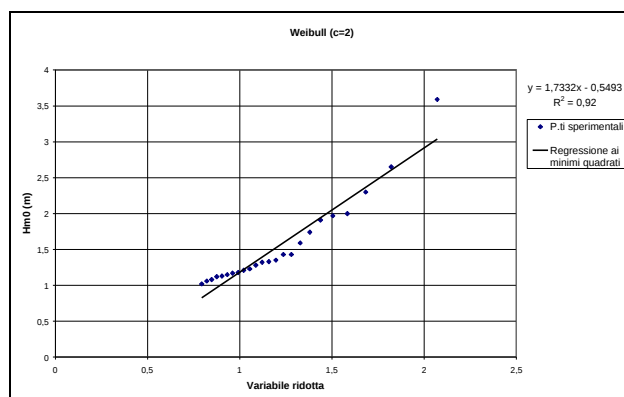
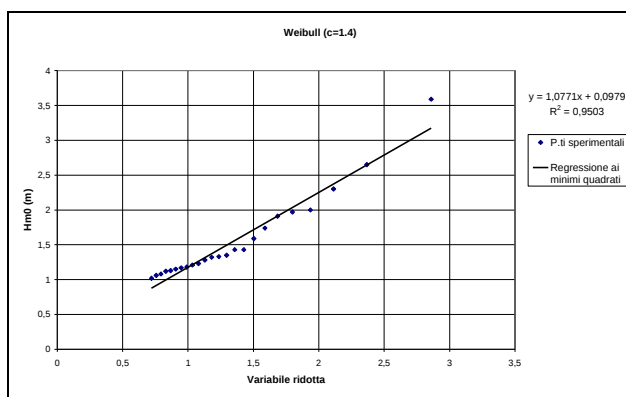
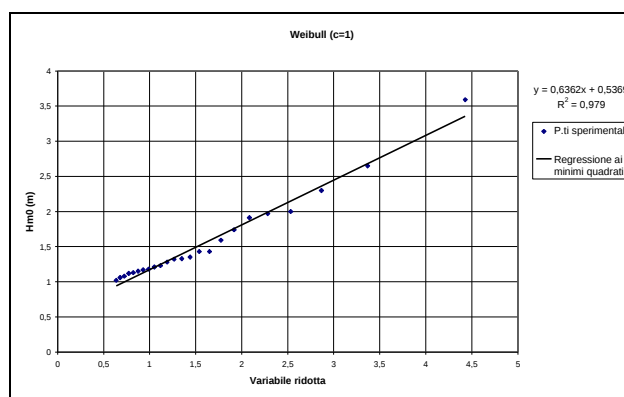
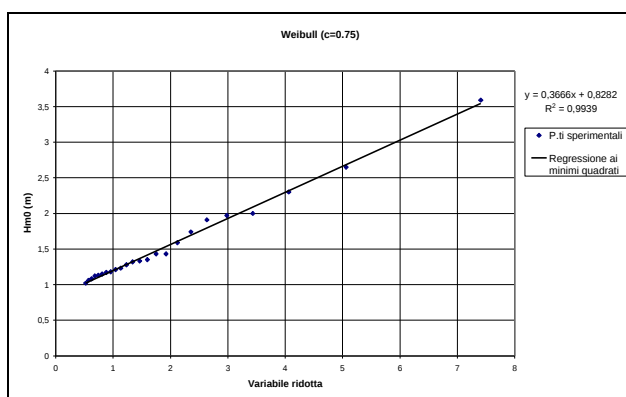
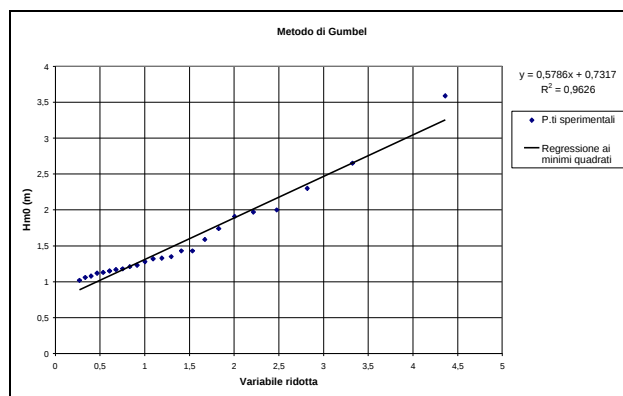


Figura 6.1 - Interpolazione dei dati sperimentali e stima dei parametri delle distribuzioni probabilistiche di Gumbel e Weibull (per i quattro diversi valori considerati di c) - Dati della boa ondometrica della R.O.N. al largo di Ancona, settore direzionale di provenienza 280°N-350°N

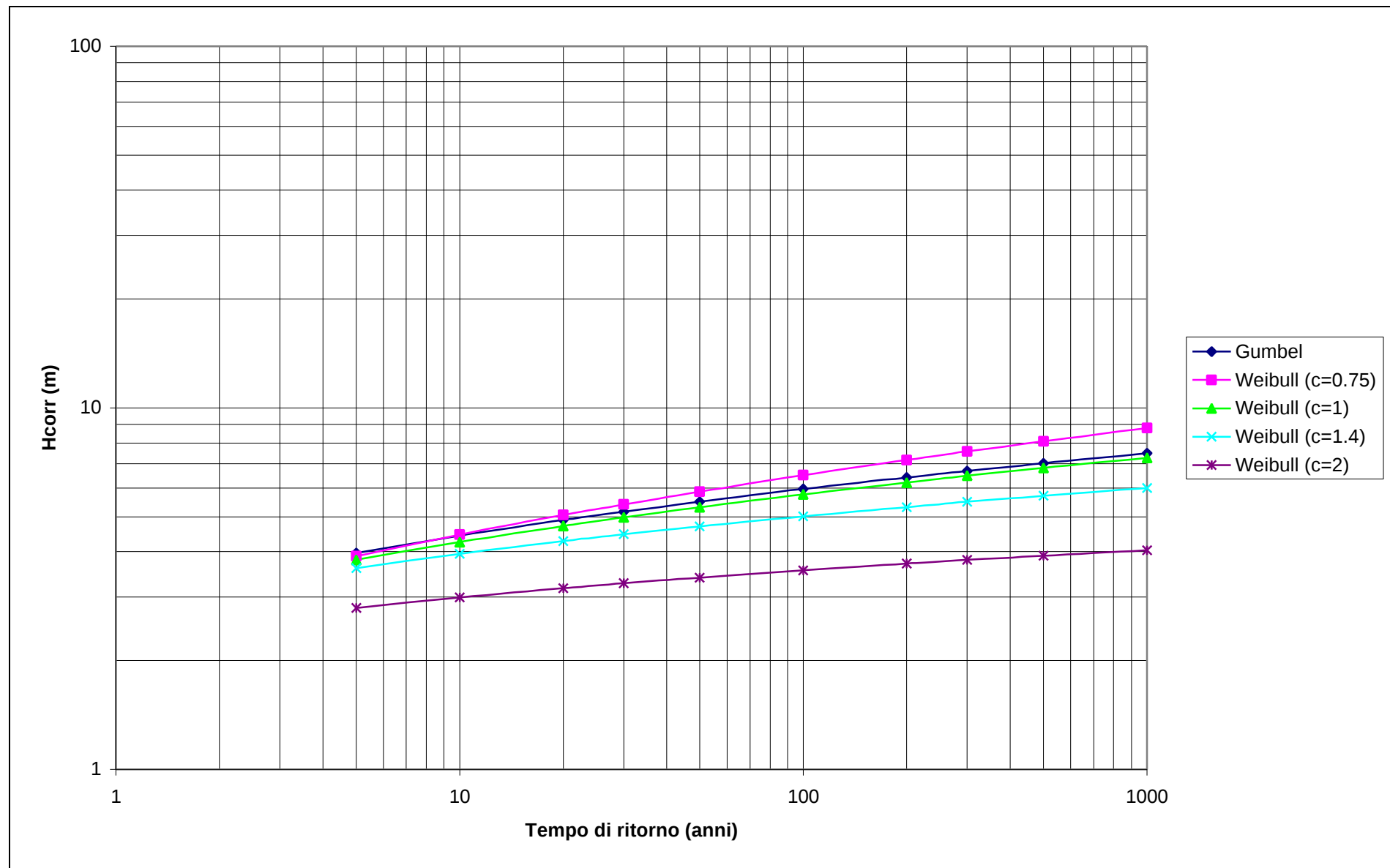


Figura 6.2 – Andamento grafico ($H_{corretta}$ -tempo di ritorno) per le cinque leggi di distribuzione probabilistica esaminate - Dati della boa ondometrica della R.O.N. al largo di Ancona, settore direzionale di provenienza $280^{\circ}N$ - $350^{\circ}N$

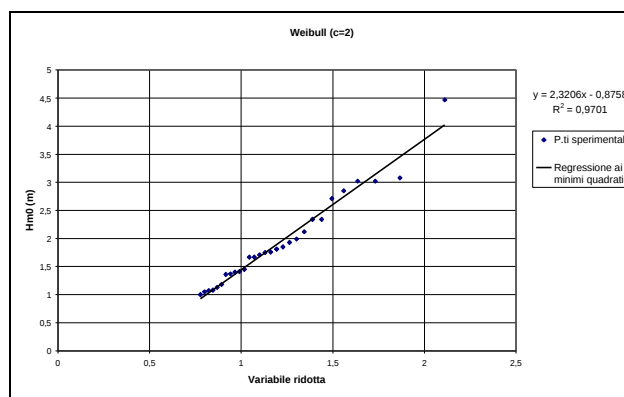
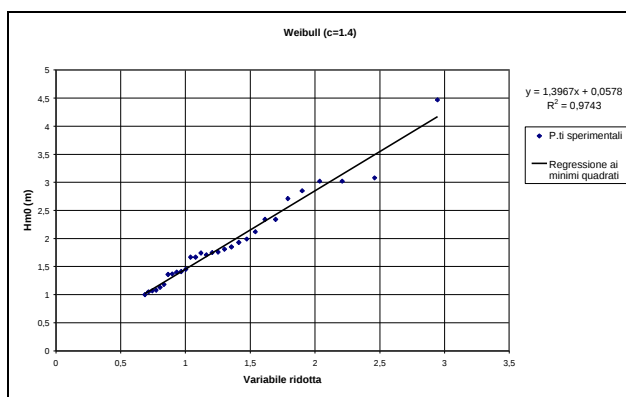
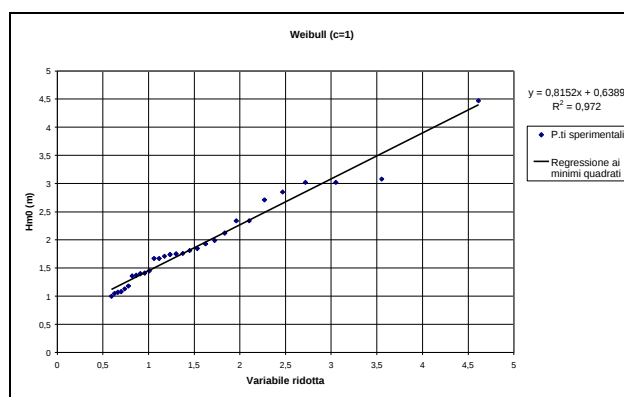
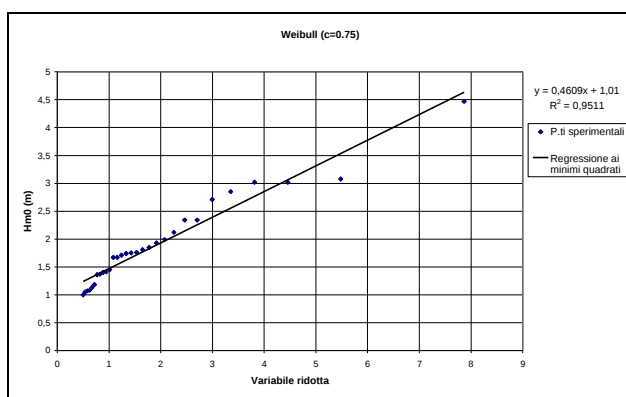
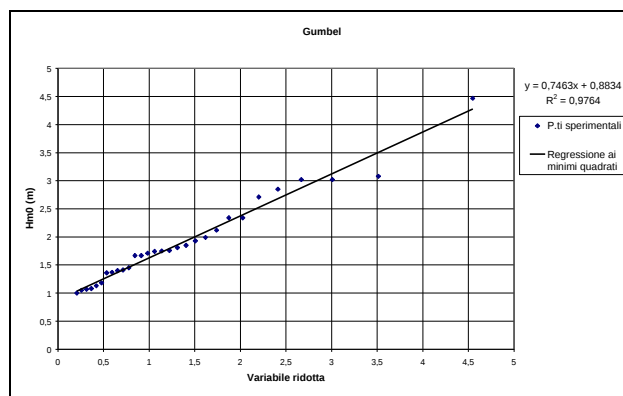


Figura 6.3 - Interpolazione dei dati sperimentali e stima dei parametri delle distribuzioni probabilistiche di Gumbel e Weibull (per i quattro diversi valori considerati di c) - Dati della boa ondometrica della R.O.N. al largo di Ancona, settore direzionale di provenienza 350°N-75°N

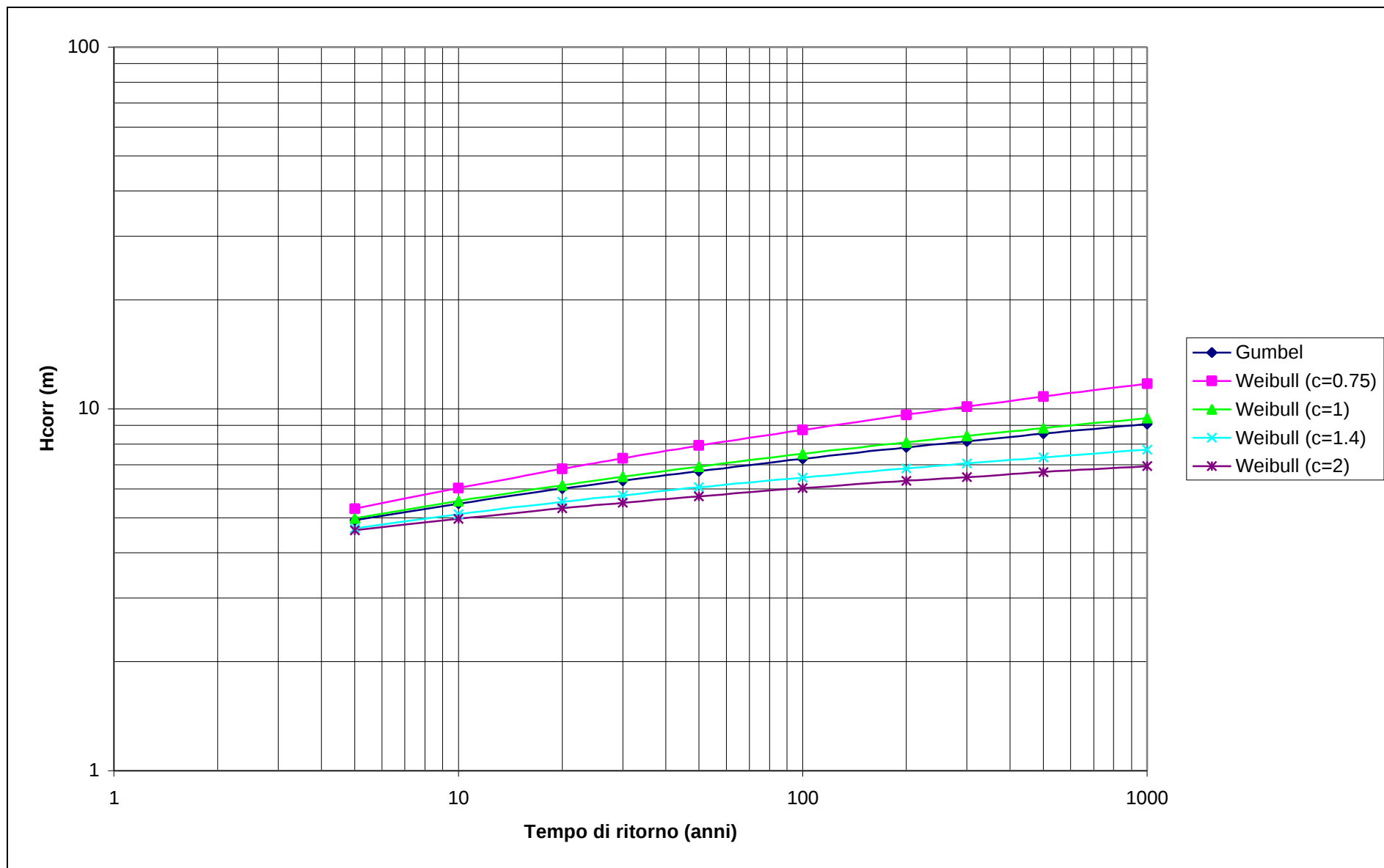


Figura 6.4 – Andamento grafico ($H_{corretta}$ -tempo di ritorno) per le cinque leggi di distribuzione probabilistica esaminate - Dati della boa ondometrica della R.O.N. al largo di Ancona, settore direzionale di provenienza 350°N - 75°N

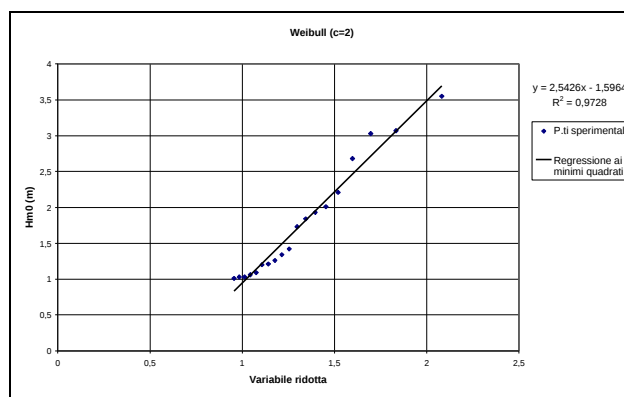
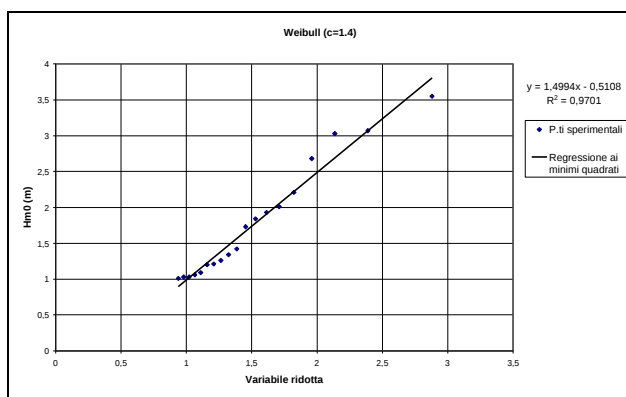
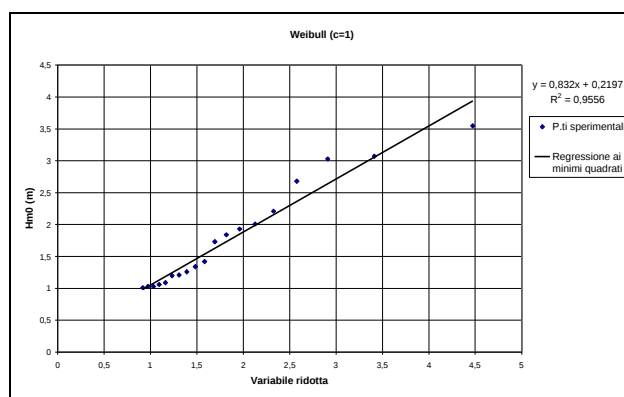
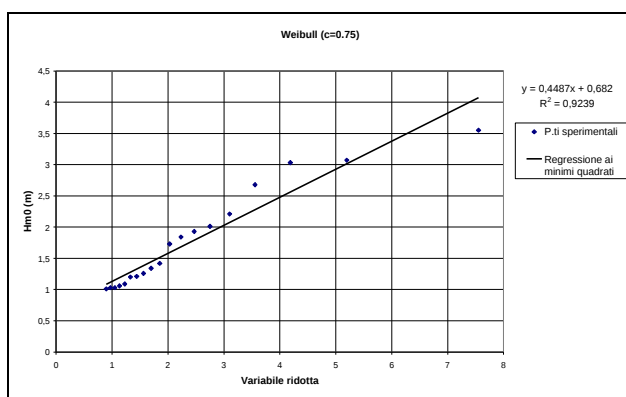
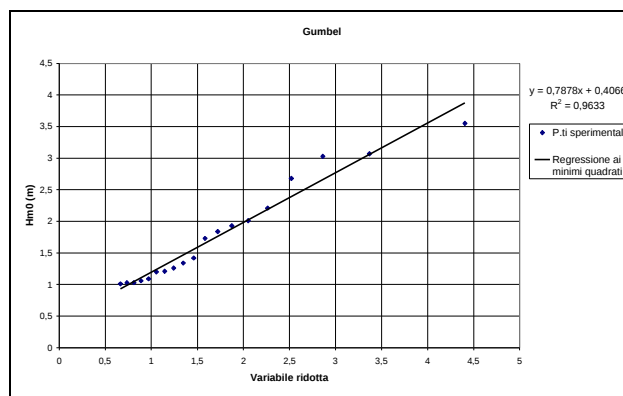


Figura 6.5 - Interpolazione dei dati sperimentali e stima dei parametri delle distribuzioni probabilistiche di Gumbel e Weibull (per i quattro diversi valori considerati di c) - Dati della boa ondometrica della R.O.N. al largo di Ancona, settore direzionale di provenienza 75°N - 170°N

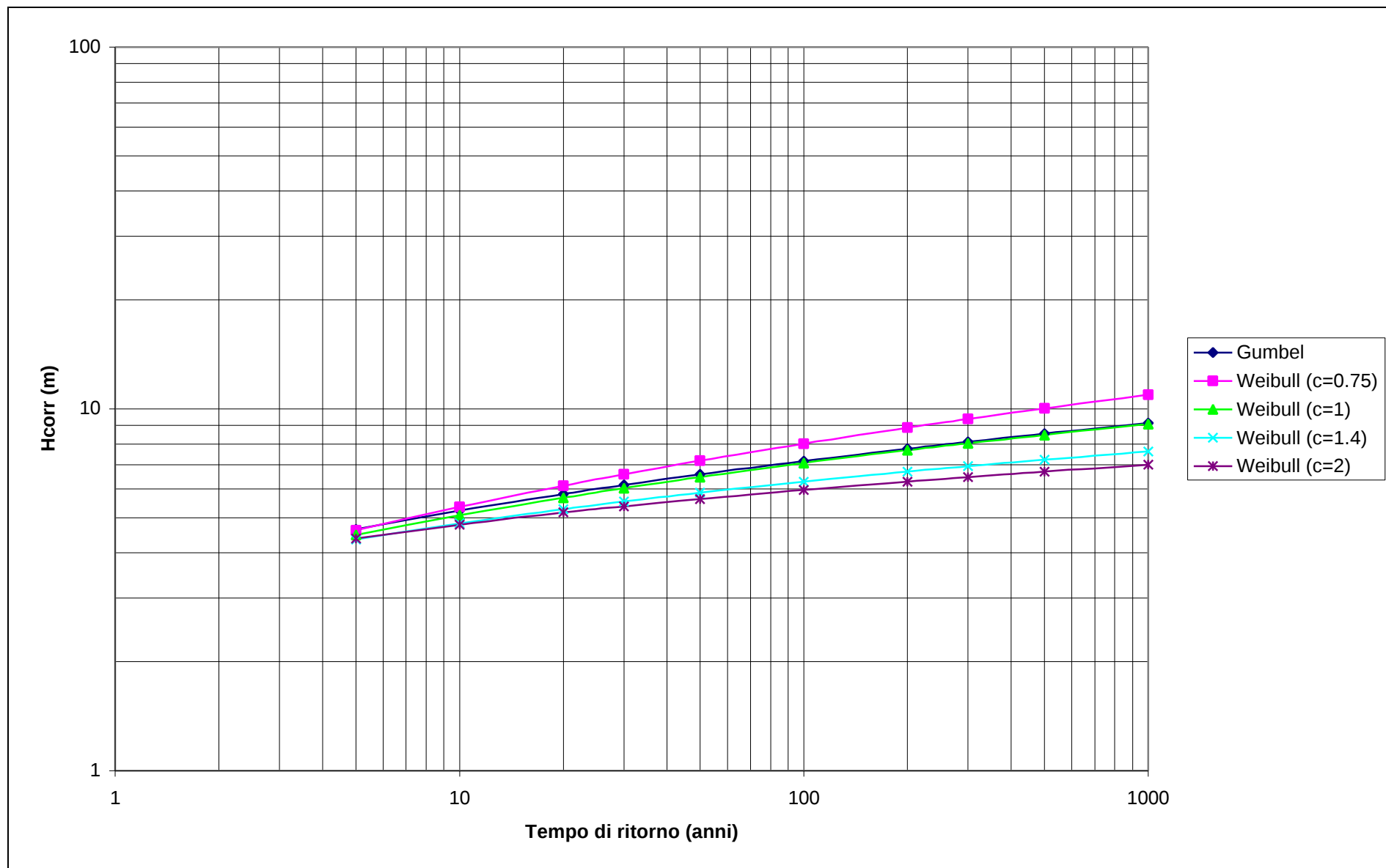


Figura 6.6 – Andamento grafico ($H_{corretta}$ -tempo di ritorno) per le cinque leggi di distribuzione probabilistica esaminate - Dati della boa ondometrica della R.O.N. al largo di Ancona, settore direzionale di provenienza 75°N-150°N

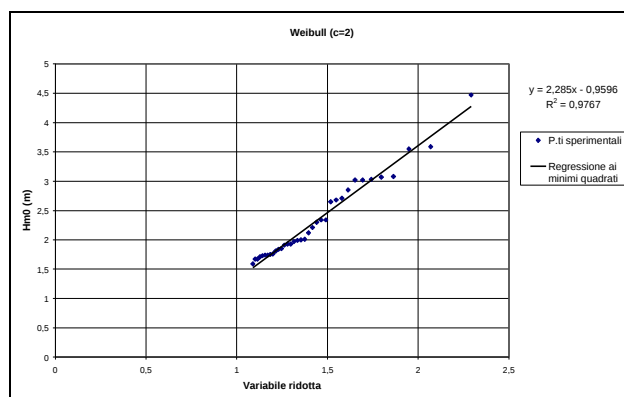
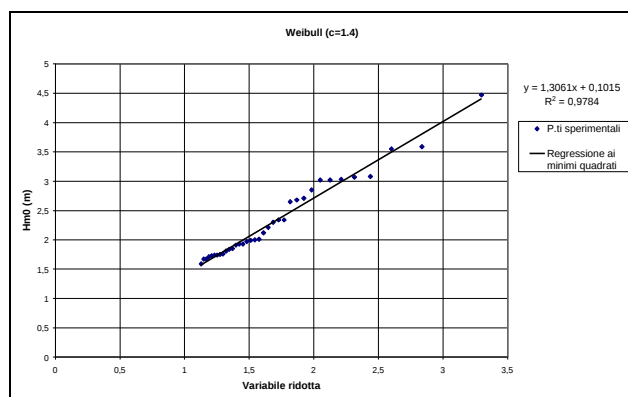
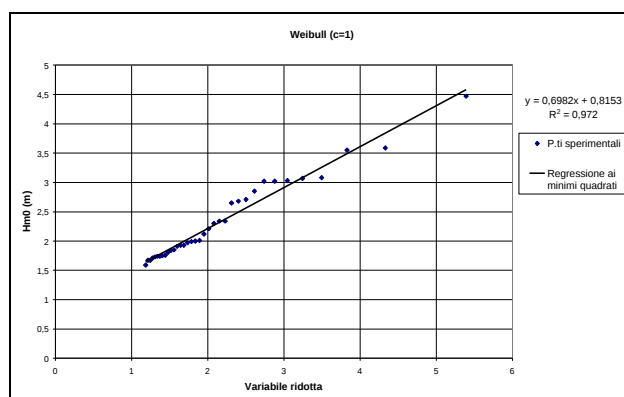
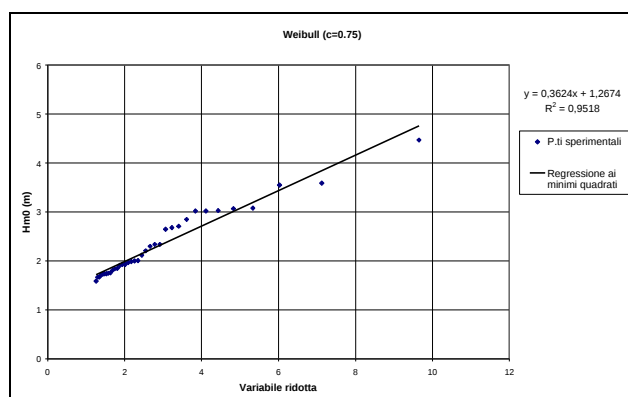
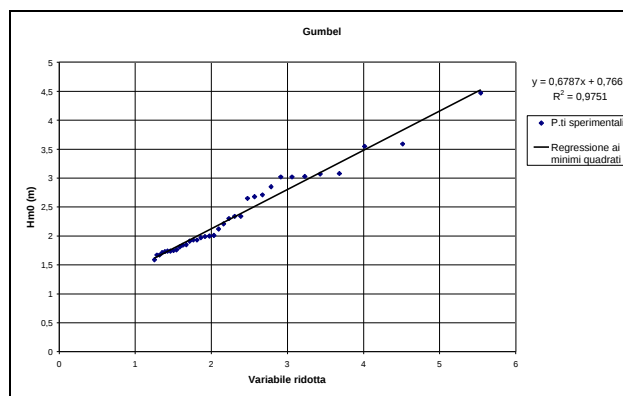


Figura 6.7 - Interpolazione dei dati sperimentali e stima dei parametri delle distribuzioni probabilistiche di Gumbel e Weibull (per i quattro diversi valori considerati di c) - Dati della boa ondometrica della R.O.N. al largo di Ancona, da ogni direzione di provenienza

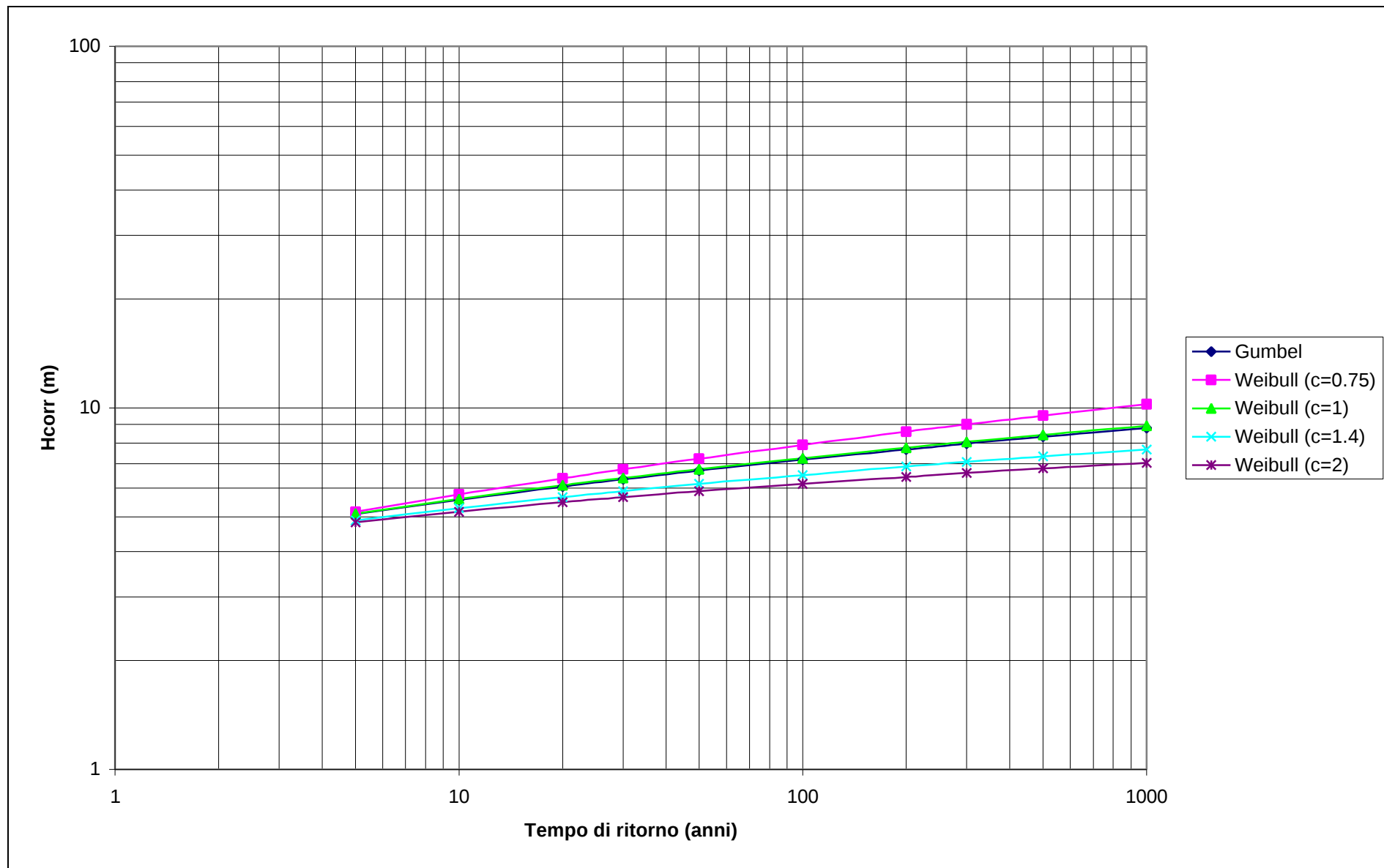


Figura 6.8 – Andamento grafico ($H_{corretta}$ - tempo di ritorno) per le cinque leggi di distribuzione probabilistica esaminate - Dati della boa ondametria della R.O.N. al largo di Ancona, da ogni direzione di provenienza

Tabella 6.2 – Valori risultanti delle altezze d’onda con tempi di ritorno di 5, 10, 20, 50, 100, 200, 300, 500, 1000 anni ottenute dall’analisi statistica dei valori (di altezza d’onda) estremi rilevati al largo di Ancona dalla boa Directional Waverider dal 9 Marzo 1999 all’ 11 Agosto 2000 per le serie di misure ondose rientranti nei tre settori direzionali di provenienza individuati (280°N – 350°N, 350°N – 75°N, 75°N – 170°N) e per l’intera serie dei dati omnidirezionali

Settore direzionale di provenienza	280°N-350°N	350°N-75°N	75°N-150°N	omnidirezionale
Legge probabilistica migliore	Weibull (c=0.75)	Gumbel	Weibull (c=2)	Weibull (c=1,4)
Tempo di ritorno (anni)	H _s corretta (metri)	H _s corretta (metri)	H _s corretta (metri)	H _s corretta (metri)
5	3,888	4,930	4,389	4,886
10	4,459	5,473	4,790	5,282
20	5,054	6,016	5,168	5,667
30	5,412	6,333	5,380	5,888
50	5,873	6,733	5,638	6,161
100	6,517	7,275	5,974	6,524
200	7,179	7,817	6,296	6,880
300	7,575	8,134	6,479	7,084
500	8,082	8,534	6,703	7,339
1000	8,784	9,076	6,998	7,679

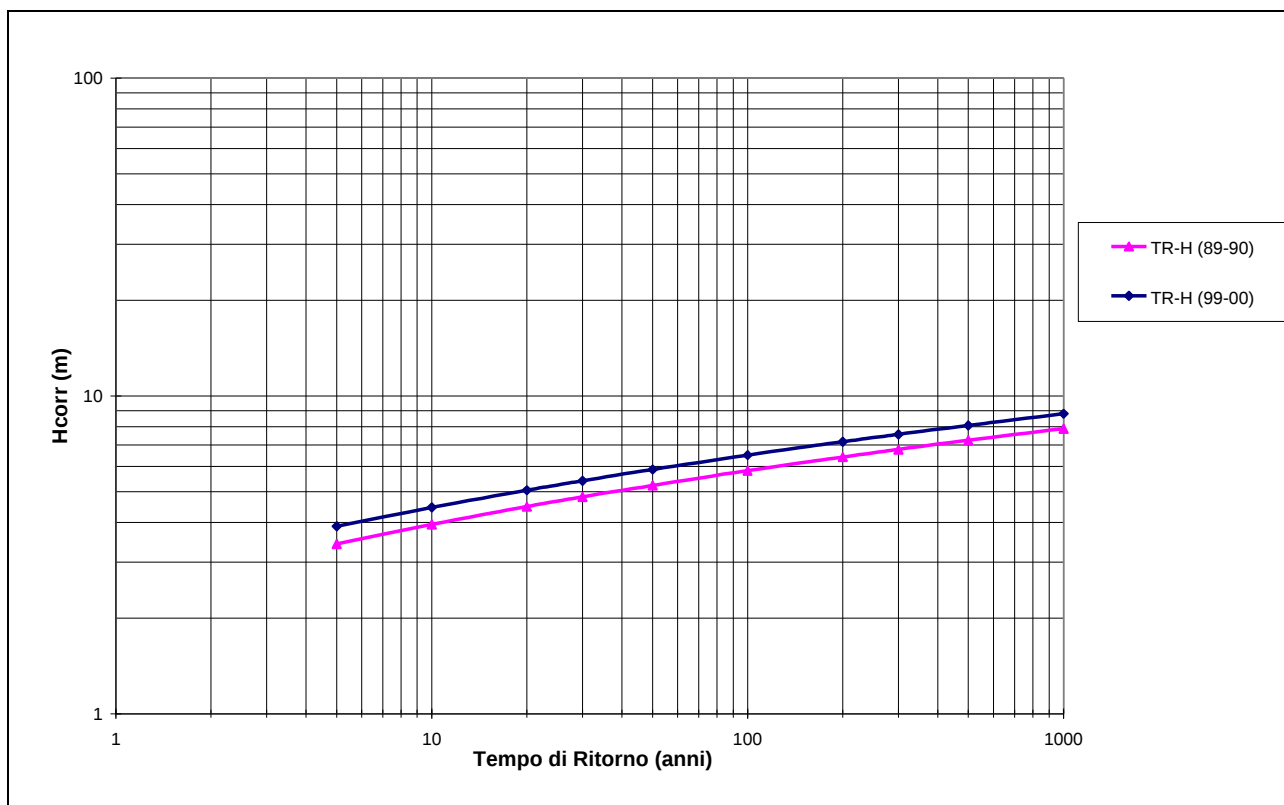


Figura 6.9 – Andamento grafico ($H_{corretta}$ -tempo di ritorno) per il settore direzionale 280°N-350°N per le due serie di dati rilevate al largo di Ancona

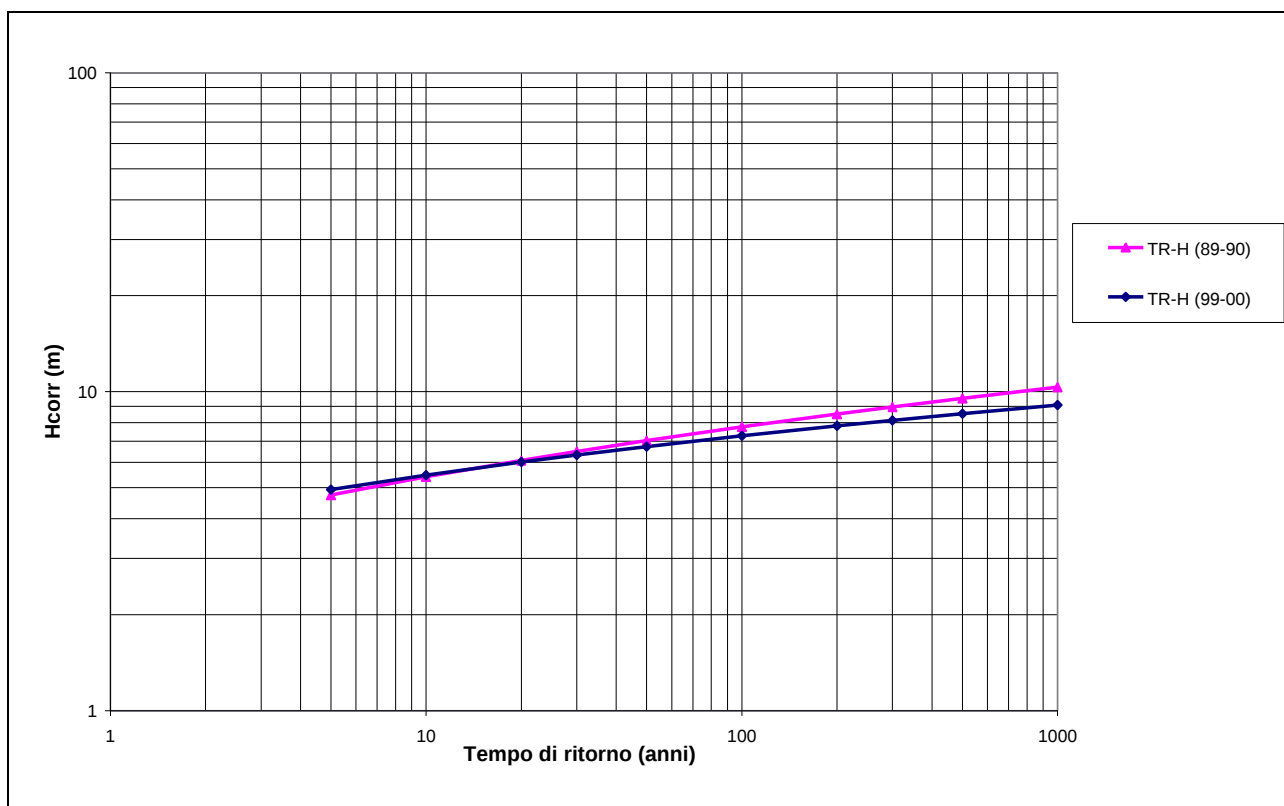


Figura 6.10 – Andamento grafico ($H_{corretta}$ -tempo di ritorno) per il settore direzionale 350°N-75°N per le due serie di dati rilevate al largo di Ancona

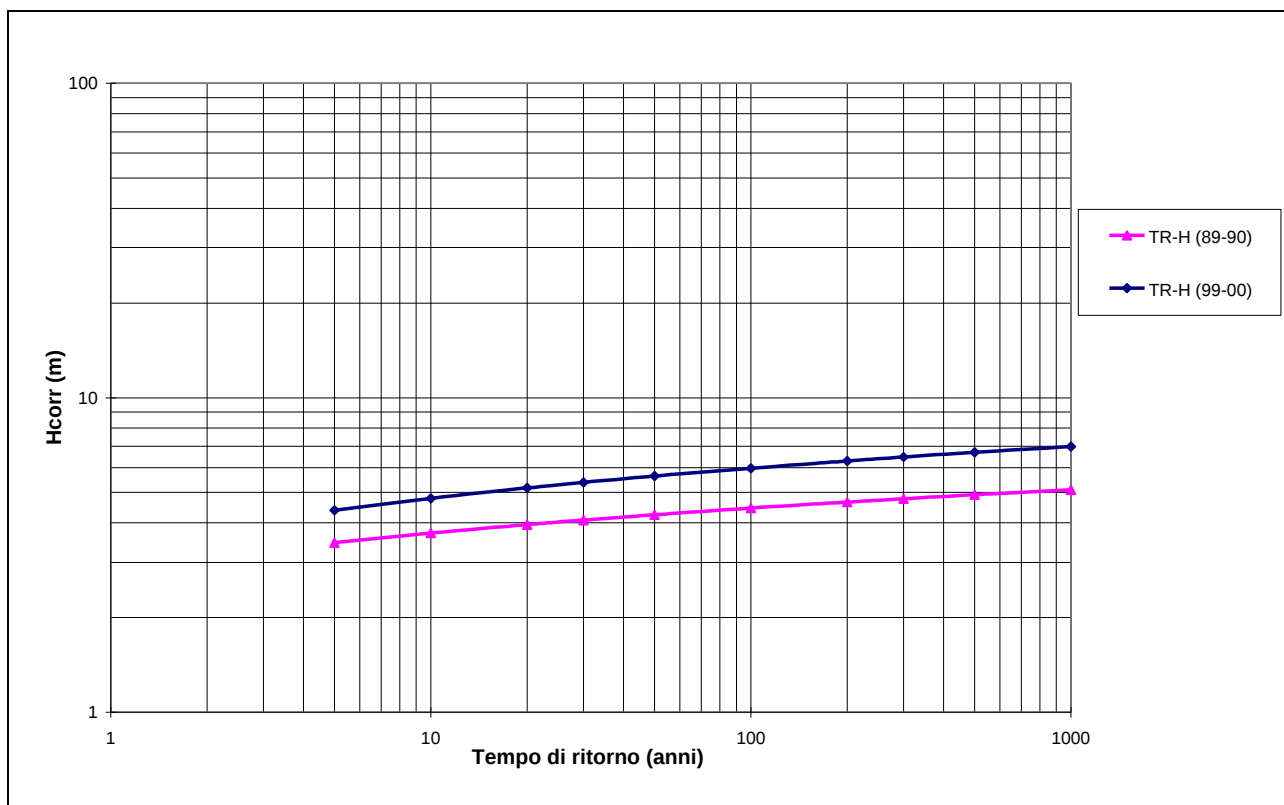


Figura 6.11 – Andamento grafico ($H_{corretta}$ -tempo di ritorno) per il settore direzionale 75°N-170°N per le due serie di dati rilevate al largo di Ancona

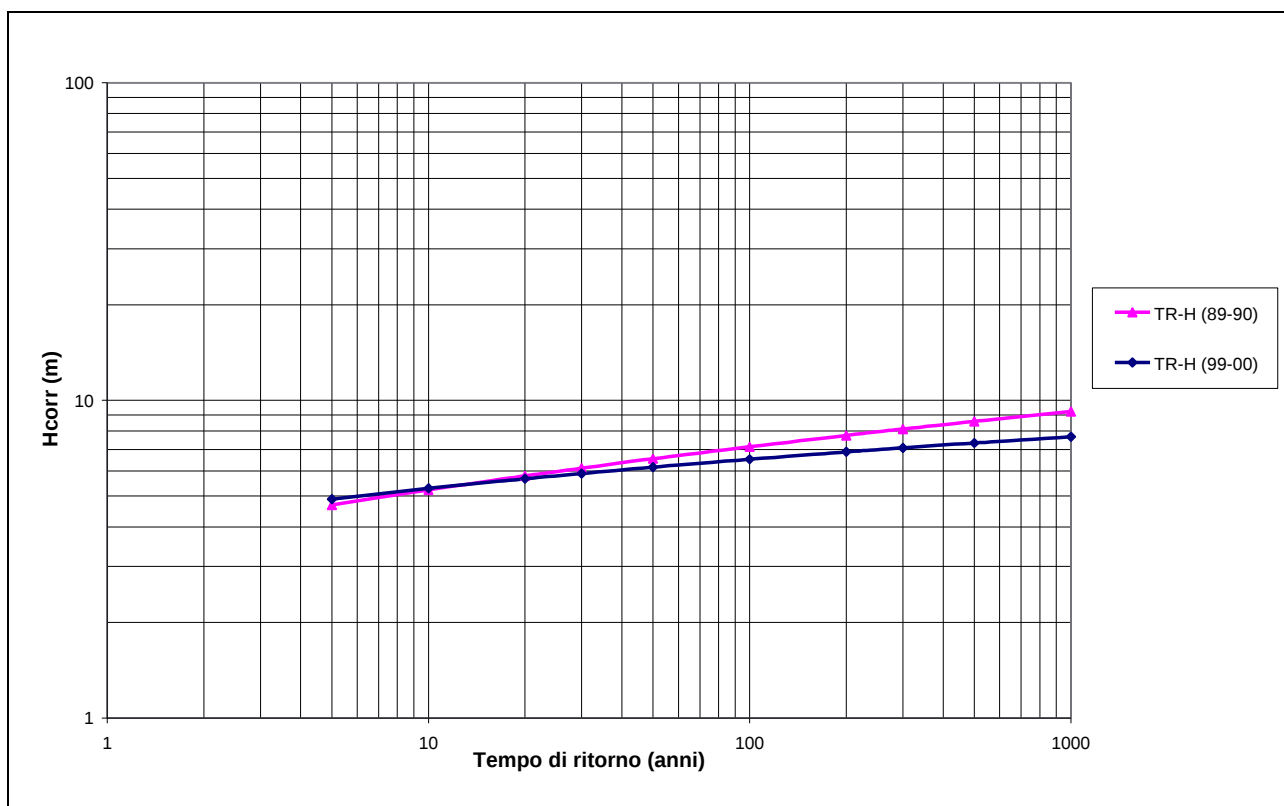


Figura 6.12 – Andamento grafico ($H_{corretta}$ -tempo di ritorno) per tutti i dati omnidirezionali del paraggio per le due serie di dati

6.3) Determinazione delle mareggiate triangolari equivalenti

Ad ogni mareggiata reale può essere associata una mareggiata triangolare, cioè un'evoluzione di tipo triangolare della funzione $H_s(t)$ nel tempo, assolutamente equivalente alla prima in termini di rischio ondoso. Secondo il procedimento indicato da Boccotti, le due mareggiate dovranno avere lo stesso valore massimo della $H_s(t)$ e la stessa probabilità che l'altezza d'onda massima nel corso della mareggiata superi un qualsiasi assegnato valore di soglia di altezza H .

Quindi, secondo il suddetto procedimento, la ricostruzione della mareggiata equivalente deve seguire i seguenti criteri: l'altezza del triangolo deve essere uguale al valore massimo dell'altezza significativa raggiunta dalla mareggiata vera, mentre la sua base, cioè la durata della mareggiata triangolare, deve essere tale che l'altezza dell'onda massima attesa nel corso della mareggiata triangolare risulti uguale all'altezza dell'onda massima attesa della mareggiata reale. Praticamente, con questa definizione, l'altezza del triangolo si ricava immediatamente, mentre la base si determina per tentativi: fissando inizialmente una base piccola, corrispondente ad un'altezza d'onda massima attesa della mareggiata triangolare minore di quella vera, ed incrementandola progressivamente fino ad ottenere lo stesso valore di H_{max} attesa di quella reale.

La probabilità che l'altezza d'onda massima nel corso di una mareggiata superi un qualsiasi assegnato valore di soglia di altezza H si può calcolare con la relazione:

$$P(H_{max} > H) = 1 - \exp \left\{ \int_0^D \frac{1}{T(h(t))} \ln[1 - P(H; H_s = h(t))] dt \right\}$$

in cui $P(H; H_s = h(t))$ è la probabilità che un'onda di uno stato di mare avente altezza significativa pari ad h abbia un'altezza maggiore di un'assegnata soglia H (la cui distribuzione assume la forma di Rayleigh, nel caso di spettro ondoso infinitamente stretto), $T(h(t))$ è il periodo medio dello stato di mare e D è la durata della mareggiata. La stessa probabilità di superamento di un'assegnata soglia H da parte dell'altezza d'onda massima per la mareggiata triangolare si può valutare con la:

$$P(H_{max} > H) = 1 - \exp \left\{ \frac{b}{a} \int_0^a \frac{1}{T(h)} \ln[1 - P(H; H_s = h)] dh \right\}$$

dove a e b sono rispettivamente l'altezza e la base del triangolo.

La selezione effettuata sugli eventi ondosi più intensi rilevati durante l'annata 1999-2000 dalla boa ondometrica *Directional Waverider* della R.O.N. al largo di Ancona, ha consentito di individuare un numero di 14 "mareggiate", intendendo con esse quegli eventi ondosi la cui altezza d'onda significativa si è mantenuta al di sopra di 1,5 metri per almeno 12 ore, in cui inoltre la stessa altezza significativa massima ha superato il valore di 2 metri. Per queste stesse 14 mareggiate reali

sono state ricostruite le corrispondenti mareggiate triangolari equivalenti, il cui andamento cronologico di confronto è rappresentato nelle Figure da 6.13 a 6.26.

Identiche ricostruzioni sono state effettuate anche per i 10 eventi ondosi intensi rilevati nel 1989-90 dalla boa *Wavec* al largo di Ancona che rispondenti ai requisiti suindicati di “mareggiata”.

Le caratteristiche delle mareggiate triangolari equivalenti, per il loro carattere di omogeneità (rispetto a quello irregolare delle mareggiate reali), possono essere utilizzate per semplificare la trattazione analitica di numerose caratteristiche ondose utili per la progettazione delle opere e per una migliore conoscenza delle condizioni ondose nel paraggio marino esaminato.

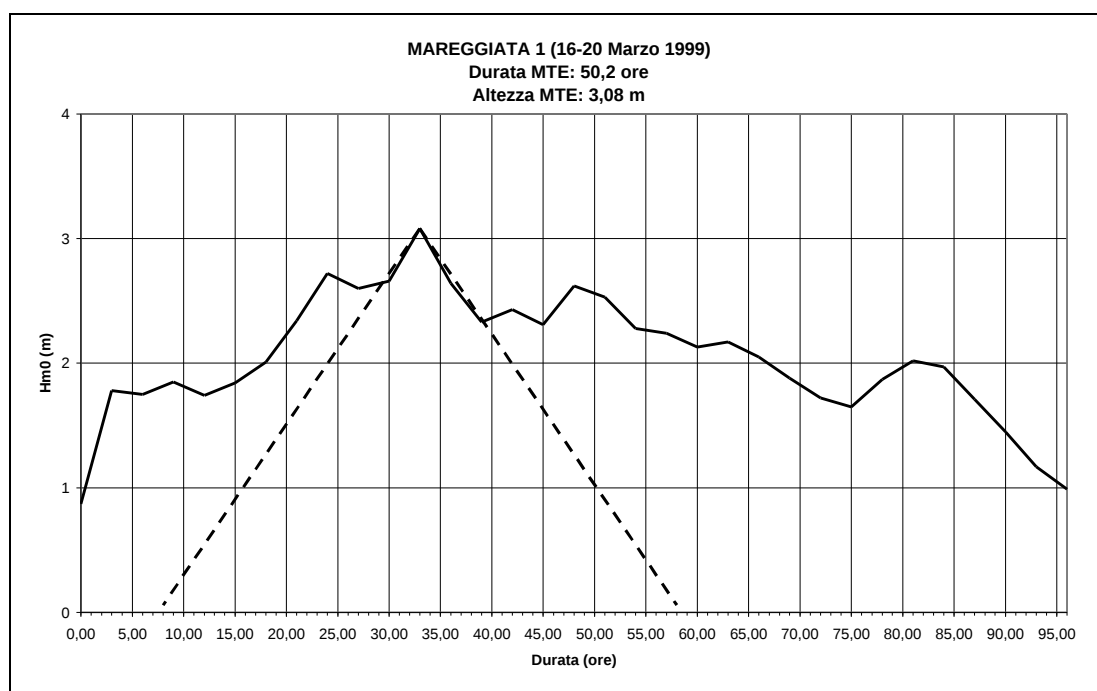


Figura 6.13 – Mareggiata reale del 16 Marzo 1999 e quella triangolare equivalente ricostruita

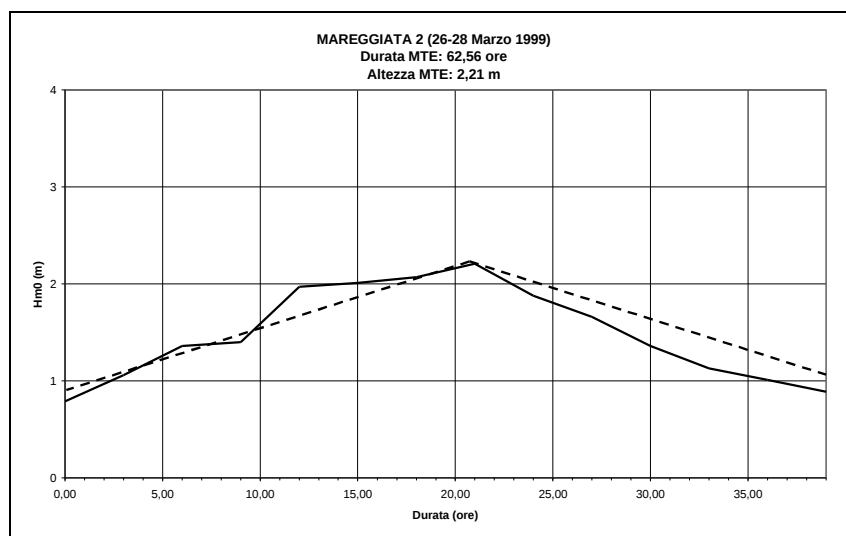


Figura 6.14 – Mareggiata reale del 26 Marzo 1999 e quella triangolare equivalente ricostruita

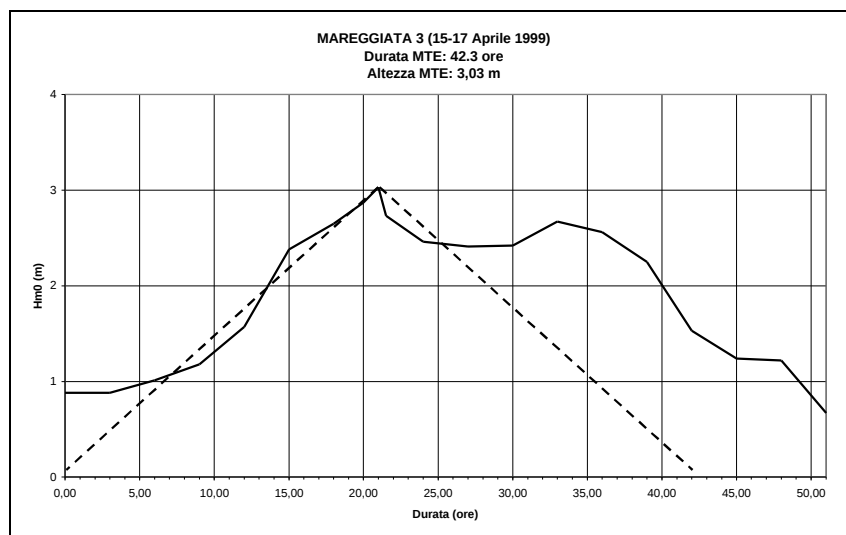


Figura 6.15 – Mareggiata reale del 15 Aprile 1999 e quella triangolare equivalente ricostruita

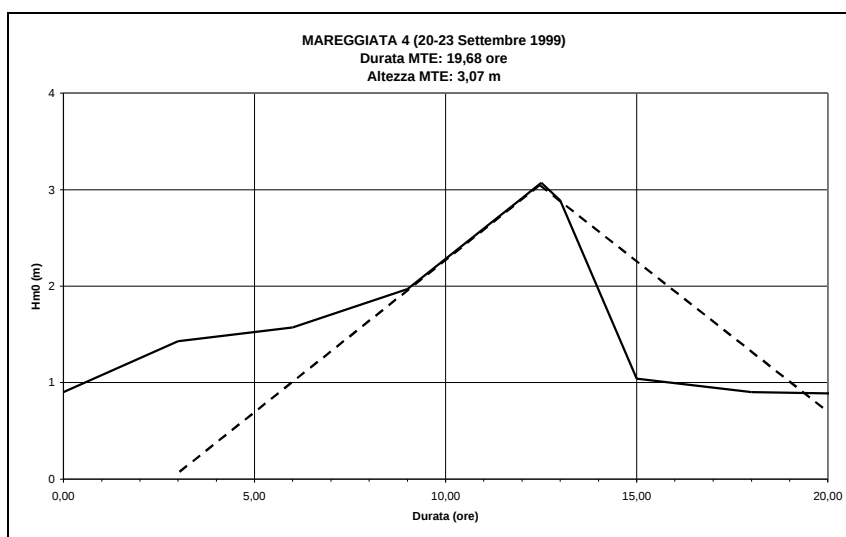


Figura 6.16 – Mareggiata reale del 20 Settembre 1999 e quella triangolare equivalente ricostruita

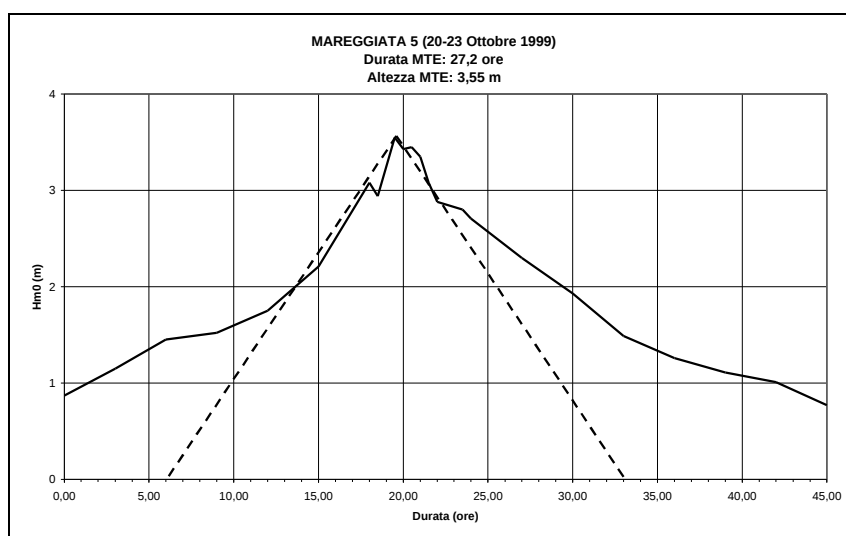


Figura 6.17 – Mareggiata reale del 20 Ottobre 1999 e quella triangolare equivalente ricostruita

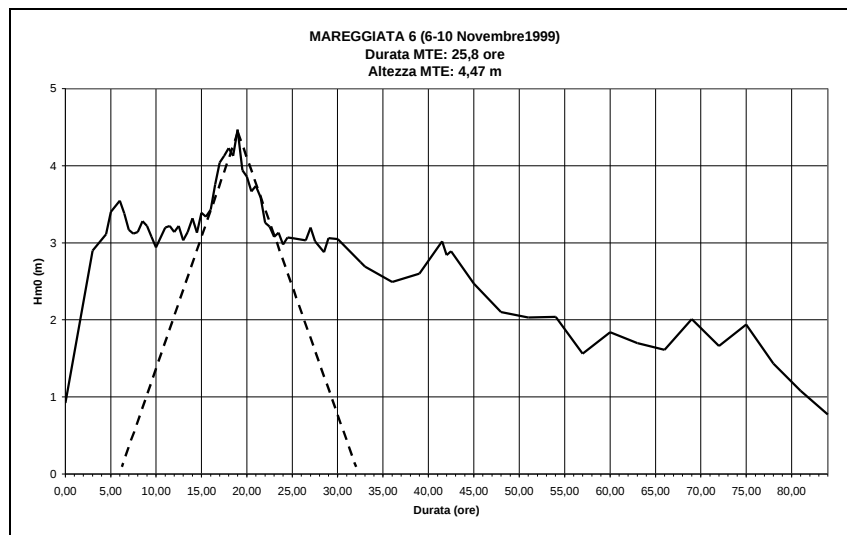


Figura 6.18 – Mareggiata reale del 6 Novembre 1999 e quella triangolare equivalente ricostruita

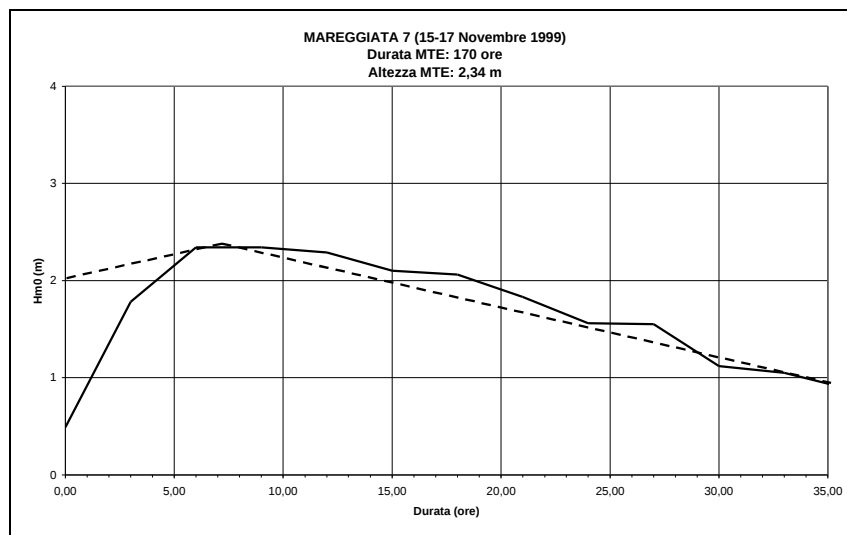


Figura 6.19 – Mareggiata reale del 15 Novembre 1999 e quella triangolare equivalente ricostruita

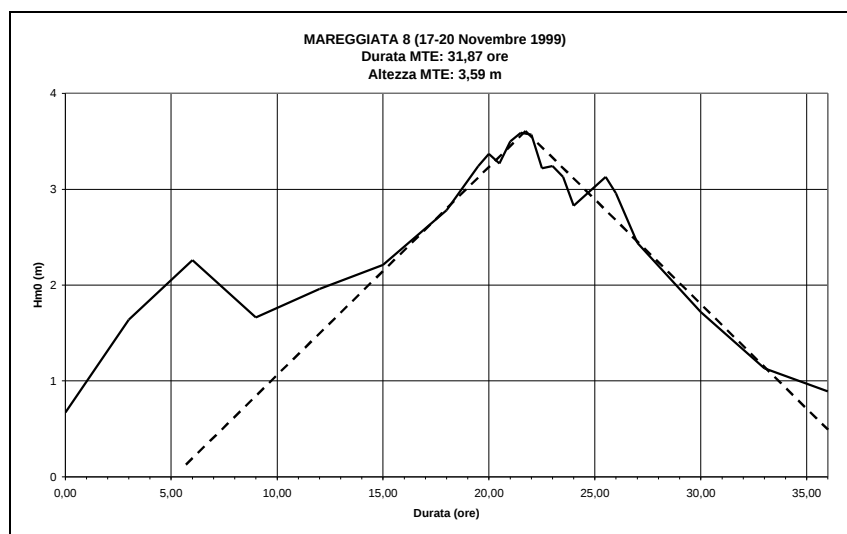


Figura 6.20 – Mareggiata reale del 18 novembre 1999 e quella triangolare equivalente ricostruita

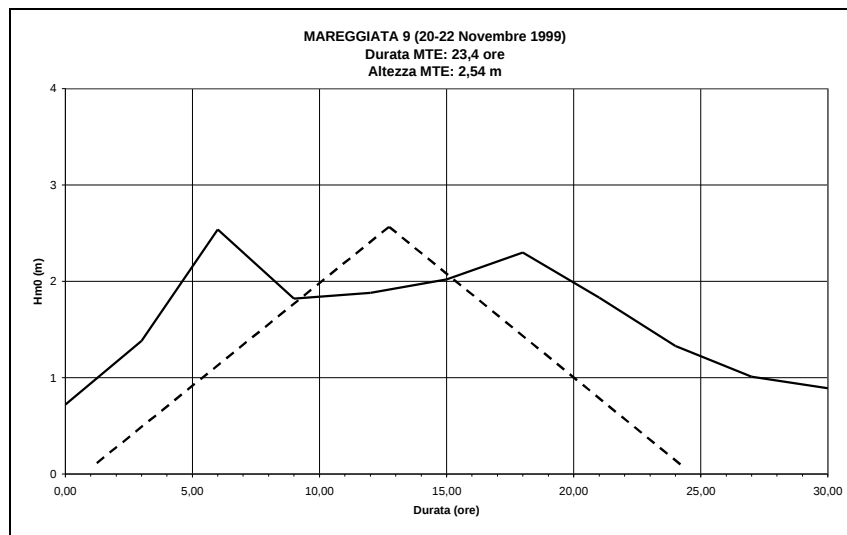


Figura 6.21 – Mareggiata reale del 21 novembre 1999 e quella triangolare equivalente ricostruita

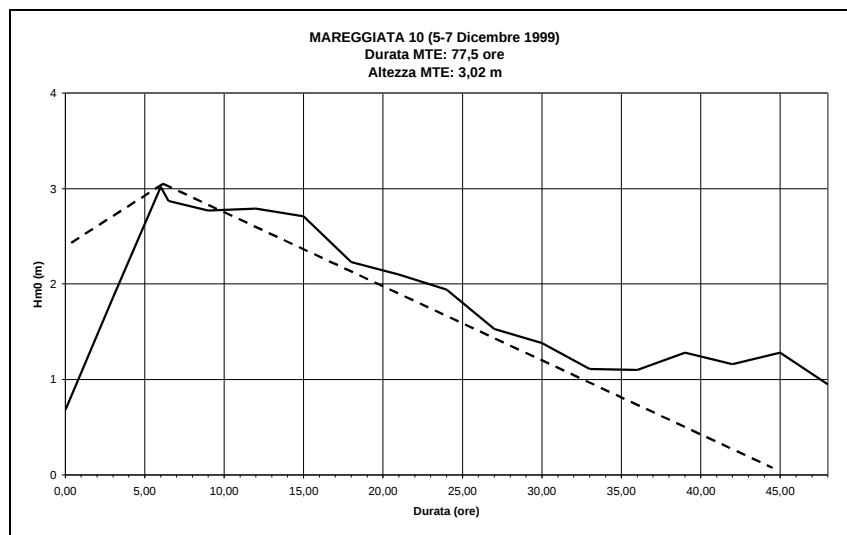


Figura 6.22 – Mareggiata reale del 5 dicembre 1999 e quella triangolare equivalente ricostruita

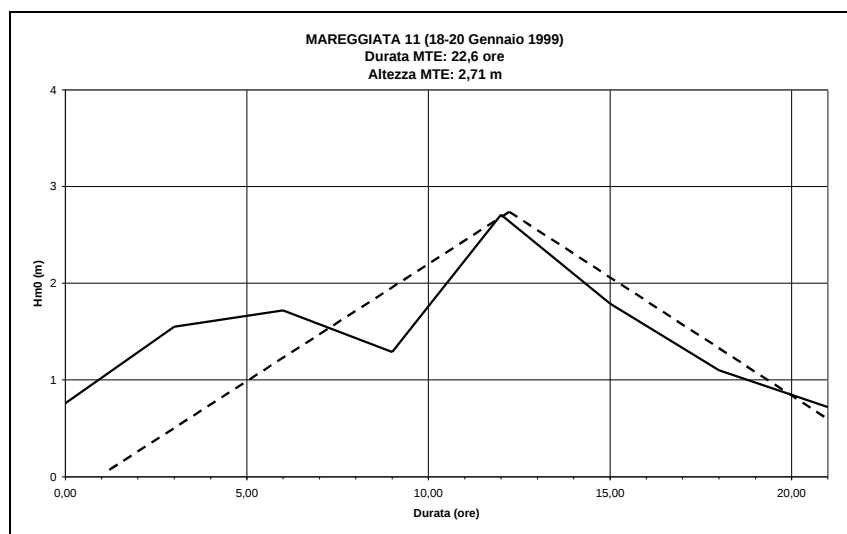


Figura 6.23 – Mareggiata reale del 18 gennaio 2000 e quella triangolare equivalente ricostruita

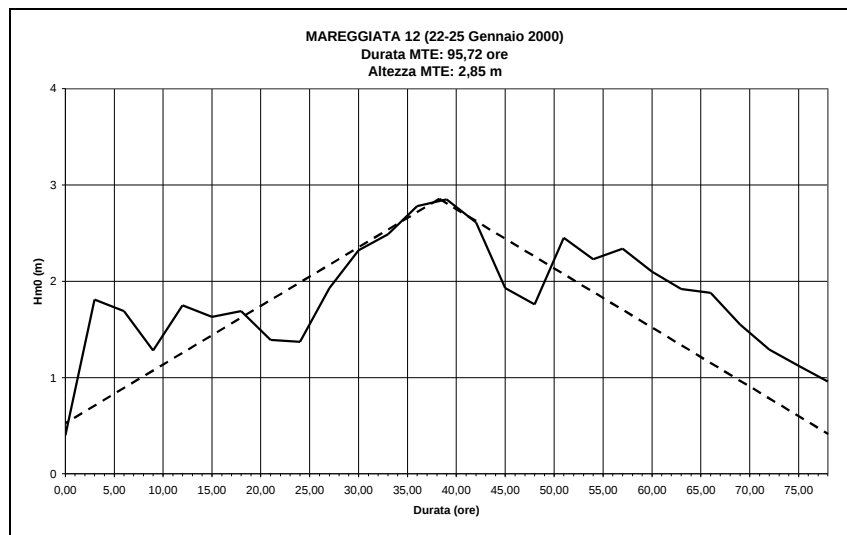


Figura 6.24 – Mareggiata reale del 22 gennaio 2000 e quella triangolare equivalente ricostruita

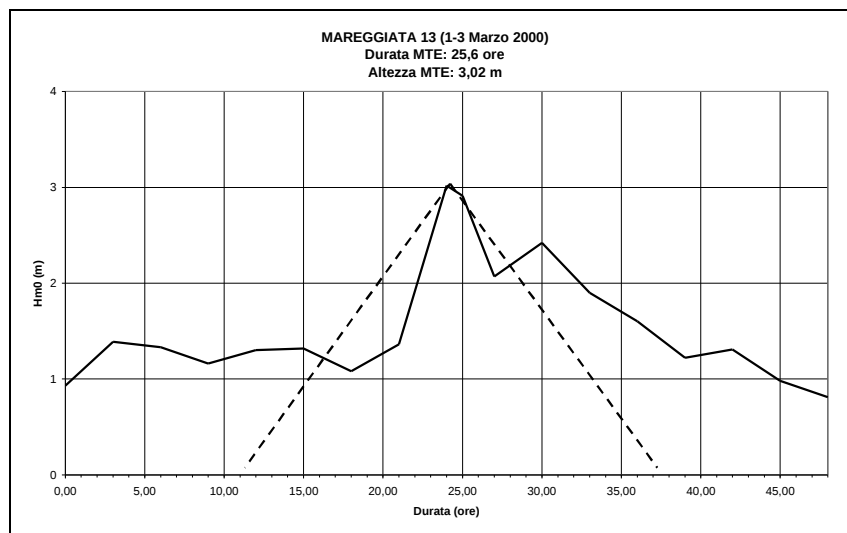


Figura 6.25 - Mareggiata reale dell'1 Marzo 2000 e quella triangolare equivalente ricostruita

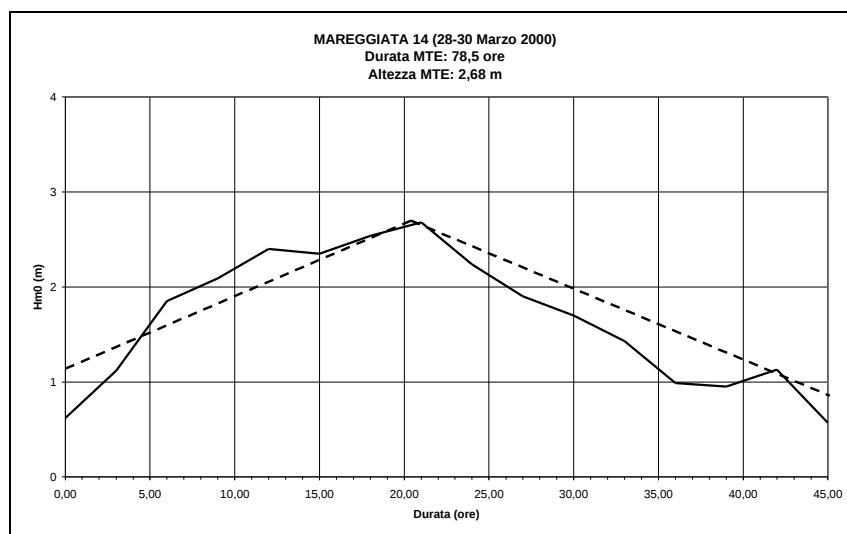


Figura 6.26 – Mareggiata reale del 28 marzo 2000 e quella triangolare equivalente ricostruita

6.4) Determinazione dei tempi di ritorno e della persistenza media delle mareggiate

Dai dati rilevati dalle boe è possibile ricavare anche la probabilità $P(H_s > h)$ che l'altezza significativa, in una località superi un'assegnata soglia h , indipendentemente (o meno) dalla direzione di propagazione delle onde. Tale probabilità rappresenta la frazione di tempo (prevedibile) durante cui l'altezza significativa si mantiene al di sopra della fissata soglia h e può essere scritta nella forma:

$$P(H_s > h) = \left(\frac{h}{w} \right)^u$$

dove i parametri u (adimensionale) e w (avente le dimensioni di un'altezza) sono caratteristici della località in esame.

Per ricavare i parametri u e w si definiscono le seguenti variabili ausiliarie:

$$X = 100 \cdot \ln(2,5 \cdot h) \qquad Y = 100 \cdot \ln[\ln(1/P(H_s > h))]$$

La precedente espressione della $P(H_s > h)$, nel piano (X, Y) , è rappresentata dalla retta di equazione:

$$Y = a + b \cdot X$$

avente coefficiente angolare b ed intercetta a legati ai parametri u e w ed alla probabilità di superamento dalle relazioni:

$$u = b$$
$$w = \frac{1}{2,5} \cdot \exp\left(-\frac{a}{100 \cdot b}\right)$$

L'elaborazione dei dati sperimentali per gli anni di osservazione disponibili delle misure ondose al largo di Ancona ha permesso di ricavare per u e w i seguenti valori:

$$\text{per le registrazioni 1989-1990:} \qquad u = 1,1989 \qquad w = 0,7574 \text{ m}$$

$$\text{per le registrazioni 1999-2000:} \qquad u = 1,0905 \qquad w = 0,7607 \text{ m}$$

E' stato quindi possibile per ciascun anno di osservazione ricavare le equazioni delle rette:

$$Y = u \cdot X - 100 \cdot u \cdot \ln(2,5 \cdot w)$$

e confrontarle.

L'individuazione delle mareggiate triangolari equivalenti, associate alle mareggiate reali per le due serie di dati disponibili al largo di Ancona, consente di calcolare il valor medio delle basi (durate) dei triangoli di assegnata altezza a , attraverso l'espressione:

$$b(h) = b_n \cdot \left(1,11 - 0,11 \frac{a}{a_n} \right)$$

dove a_n e b_n rappresentano il valor medio delle altezze a ed il valor medio delle durate b delle n mareggiate più intense rilevate nel periodo di registrazione (nel presente caso $n=14$ per i dati del 1999-2000 ed $n=10$ per i dati del 1989-1990).

Una volta individuati i parametri rappresentativi della località in esame, si possono calcolare le espressioni del tempo di ritorno $R(H_s > h)$ di una mareggiata in cui l'altezza significativa massima superi un'assegnata soglia h , e della persistenza media $D(H_s > h)$ dell'altezza H_s al di sopra di tale stessa soglia h :

$$R(H_s > h) = \frac{b(h)}{1 + u \cdot \left(\frac{h}{w} \right)^u} \cdot \exp \left(\frac{h}{w} \right)^u$$

$$D(H_s > h) = \frac{b(h)}{1 + u \cdot \left(\frac{h}{w} \right)^u}$$

Nelle Figure 6.27, 6.28 e 6.29 sono riportati rispettivamente l'andamento della probabilità di superamento dell'altezza d'onda significativa delle mareggiate nel paraggio marino in esame rappresentato nel piano (X,Y) delle variabili ausiliarie, l'andamento del tempo di ritorno delle mareggiate ed infine quello della loro persistenza media al di sopra di un'assegnata soglia H per entrambe le serie di dati rilevate al largo di Ancona.

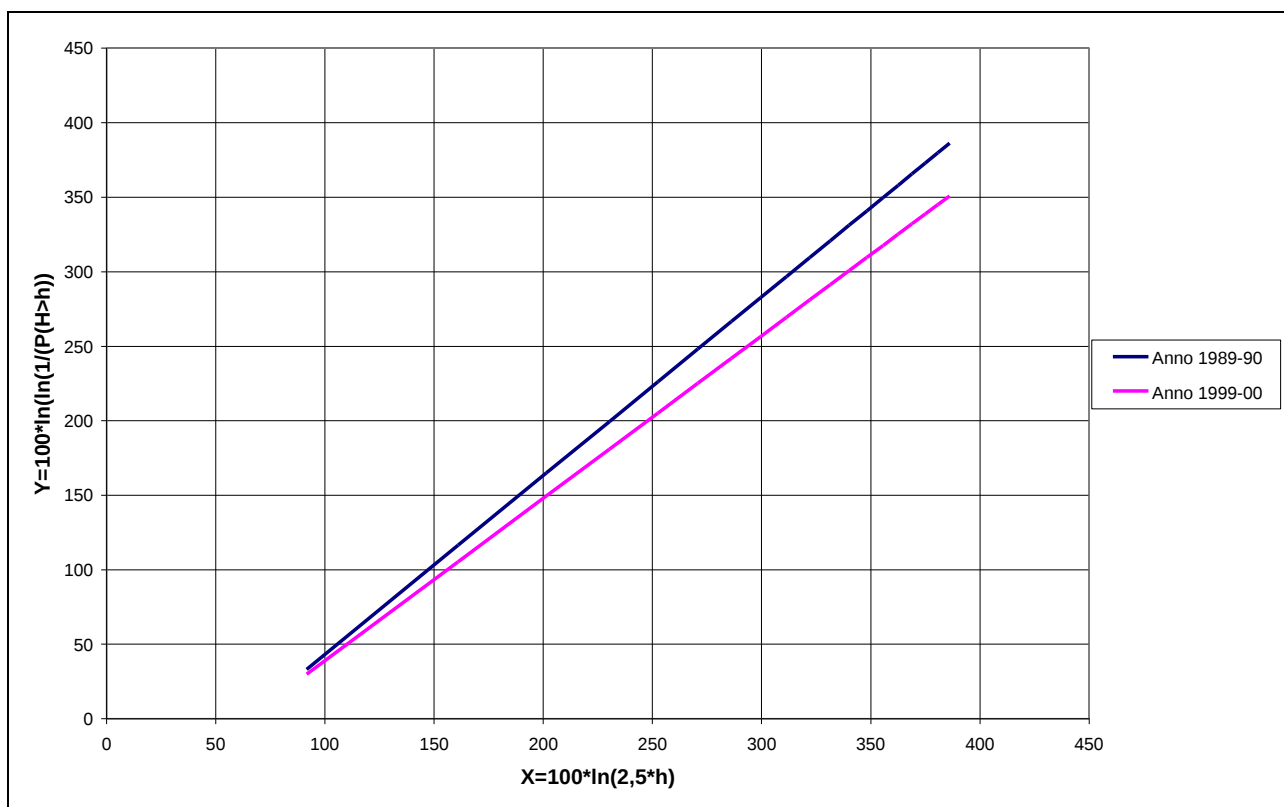


Figura 6.27 – Andamento della probabilità $P(H_s > h)$ che nel paraggio marino di Ancona l'altezza significativa nel corso delle mareggiate superi la soglia h rappresentato nel piano delle variabili ausiliarie X ed Y ed ottenuto per entrambe le serie di misure ondametriche disponibili

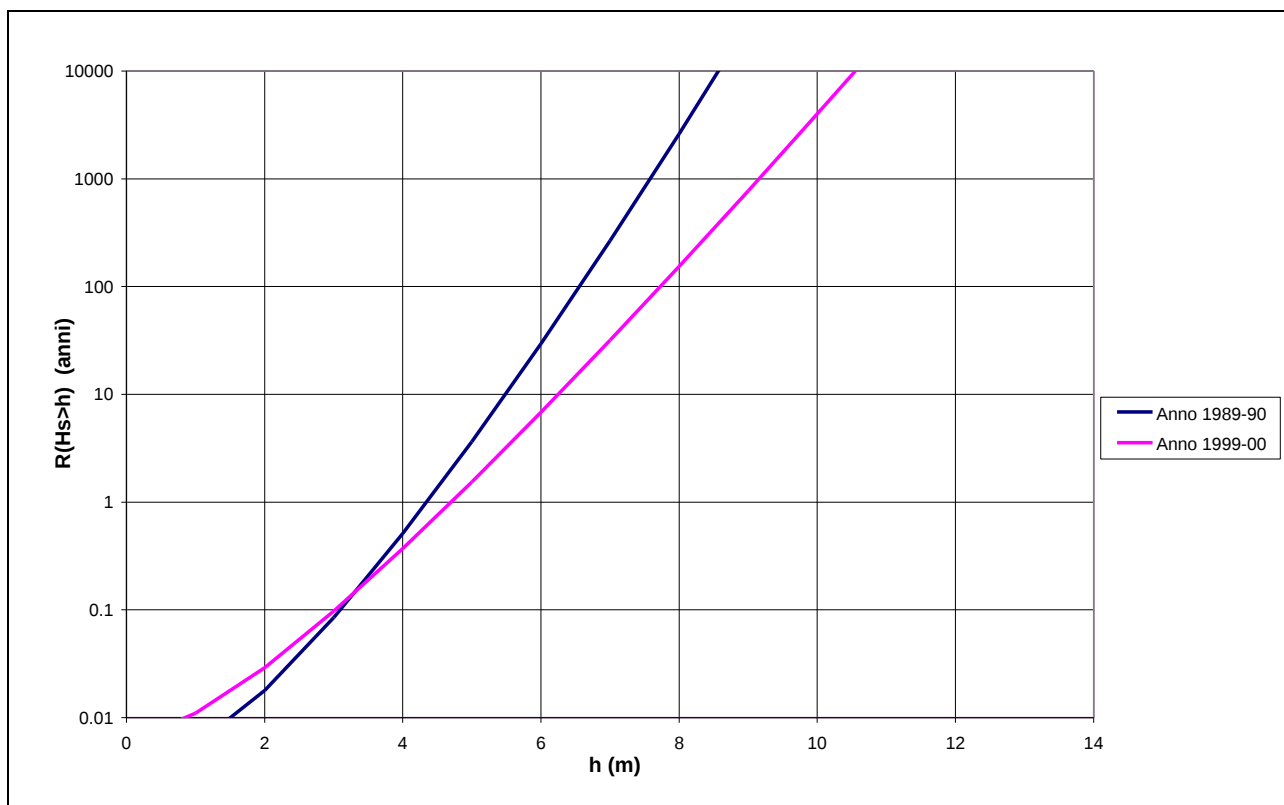


Figura 6.28 – Andamento del tempo di ritorno $R(H_s > h)$ delle mareggiate sopra la soglia di altezza significativa h per entrambe le serie di misure ondametriche disponibili al largo di Ancona

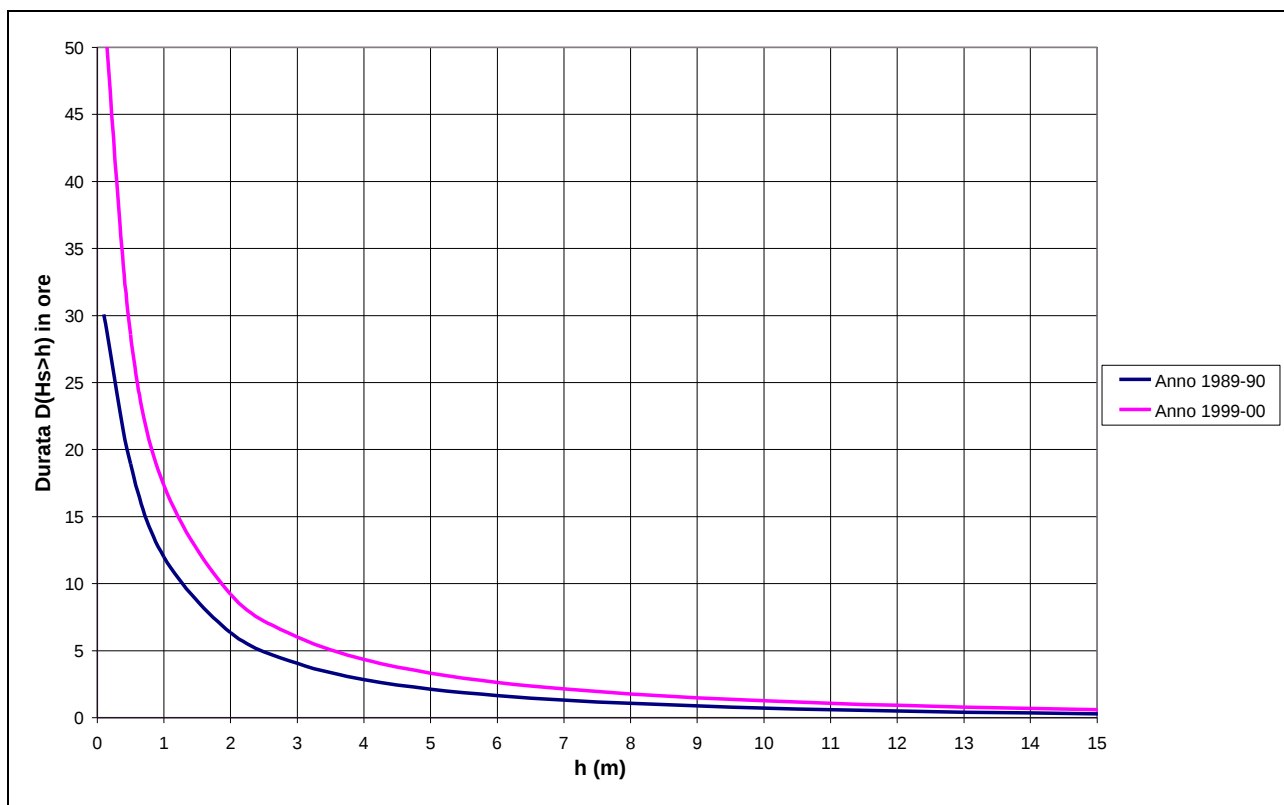


Figura 6.29 – Andamento della persistenza media $D(H_s > h)$ delle mareggiate sopra la soglia di altezza significativa h per entrambe le serie di misure ondametriche disponibili al largo di Ancona

7) MODELLI SPETTRALI DI PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSI DAL LARGO VERSO LA COSTA

L'analisi spettrale degli stati di mare generati dal vento risulta di fondamentale importanza per la taratura dei modelli di previsione utilizzati nella progettazione delle opere marittime ed in particolare di quelle costiere. In generale tali modelli consentono di studiare le trasformazioni che presenta il moto ondoso nella propagazione dal largo verso riva tenendo conto della natura irregolare e casuale delle onde (onde *random*).

Nello specifico verrà utilizzato il modello *AFS* (*Actual Frequency Spectrum*), proposto dal prof. Scarsi. Questo modello individua gli spettri effettivi sulla base dei modelli spettrali *TMAR* ed *LW*, come esplicitato in seguito.

Il primo di questi ultimi due modelli individua uno spettro in frequenza saturato, cioè uno spettro limite ad una data profondità finita. Si tratta del modello spettrale indicato con *TMAR*, che deriva da una revisione del precedente modello "*TMA Spectral Spectrum*" (la sigla è composta dalle iniziali dei nomi degli studi effettuati su tre uragani statunitensi: Texel, Marsen ed Arsloe). Il secondo invece considera la trasformazione per trasferimento in profondità finita di uno spettro direzionale proveniente dalle acque profonde; si tratta dello spettro indicato con *LW* (dalle iniziali dei nomi degli autori di tale modello spettrale: Le-Mehauté e Wang).

In pratica quindi la procedura del modello *AFS* prevede la utilizzazione di uno spettro direzionale trasferito a terra (spettro *LW*), tenendo conto della rifrazione e dell'effetto della diminuzione del fondale (*shoaling*), e limitato in acque di profondità finita, da uno spettro di saturazione del tipo *TMAR*. Lo spettro ottenuto con il modello *AFS* risulta composto, per ogni frequenza, dal valor minimo della densità di energia spettrale associata a tale frequenza nei due modelli *TMAR* ed *LW*.

7.1) Il modello spettrale *TMAR*

Si considera su profondità infinita uno spettro in frequenza del tipo *JoNSWaP*:

$$S_{J_0}(f) = a_o g^2 (2p)^{-4} f^{-5} \exp \left[-\frac{5}{4} \left(\frac{f}{f_{p_0}} \right)^4 \right] g^{\exp \left[-\frac{(f - f_{p_0})^2}{2w_o^2 f_{p_0}^2} \right]}$$

In esso il parametro di equilibrio o coefficiente di Phillips a_o dipende dalla lunghezza del *fetch* e dalla velocità del vento alla quota di 10m sul l.m.m.. Il picco della densità spettrale si ha in corrispondenza della frequenza di picco f_{p_0} . Il fattore di picco o di amplificazione è assunto pari a

$g = 3.3$.

Il fattore di larghezza del picco o coefficiente di forma vale $w_0 = \begin{cases} 0.07 & \text{per } f \leq f_{p_0} \\ 0.09 & \text{per } f > f_{p_0} \end{cases}$.

Nel presente studio, avendo a disposizione i valori significativi di altezza e periodo (quindi anche di periodo medio T_z) degli eventi di progetto o comunque di eventi di interesse, si dimostra molto utile la espressione parametrizzata dello spettro *JoNSWaP* fornita da Carter nel 1982 in termini di H_s e di periodo medio di *zero-upcrossing* T_z :

$$S_J(f) = 0.0749 H_s^2 T_z (T_z f)^{-5} \exp \left[-\frac{0.4567}{(T_z f)^4} \right] \cdot 3.3^{\exp \left[-(1.286 T_z f - 1)^2 / 2 w_0^2 \right]}.$$

Si può così ricostruire agevolmente lo spettro di frequenza al largo nonché individuare la frequenza di picco f_{p_0} ed il parametro di equilibrio a_o .

Una volta assegnato uno spettro su profondità infinita, assunto nella forma di *JoNSWaP*, il modello *TMAR* fornisce, nello spazio delle frequenze e nelle condizioni di generazione in regime stazionario, il corrispondente spettro di saturazione $S(f, h)$ sulla generica profondità finita h . Esso ha la forma seguente:

$$S_{TMAR}(f, h) = a g^2 (2p)^{-4} f^{-5} \exp \left[-\frac{5}{4} \left(\frac{f \sqrt{c}}{f_{p_0} \sqrt{c_p}} \right)^{-4} \right] \cdot g^{\exp \left[-\frac{1}{2 w_0^2} \left(\frac{f \sqrt{c}}{f_{p_0} \sqrt{c_p}} - 1 \right)^2 \right]} \cdot \left\{ c^{-2} \left[1 + \frac{2 s_h^2 c}{\sinh(2 s_h^2 c)} \right]^{-1} \right\}$$

dove il parametro a è correlato ad a_o dalla relazione:

$$a = a_o c_p^{1/3}$$

e la funzione adimensionalizzata $c = c(f, h)$ è definita dalle seguenti equazioni:

$$c = 1 / \tanh x$$

$$x = s_h^2 / (\tanh s_h^{3/2})^{2/3}$$

$$s_h = 2p f (h/g)^{1/2}$$

La $c_p = c_p(f, h)$ è relativa alle grandezze calcolate nel picco dello spettro; la s_h rappresenta la cosiddetta profondità adimensionalizzata.

Precisato lo spettro $S_{TMAR}(f, h)$, il momento di ordine zero (corrispondente all'area dello spettro) e la altezza d'onda spettrale sono dati rispettivamente dalle espressioni

$$(m_0)_{TMAR} = \int_f S_{TMAR}(f, h) df$$

$$(H_{m_0})_{TMAR} = 4.005 [(m_0)_{TMAR}]^{1/2}$$

In questo modo è possibile calcolare la altezza d'onda spettrale alla profondità desiderata, tenendo conto del fatto che, essendo il modello del tipo lineare, devono essere trascurabili gli effetti della non linearità.

7.2) Il modello spettrale LW

Tale modello, proposto da Le Mehauté e Wang, si configura come spettro direzionale su profondità finita ottenuto come propagazione dal largo verso la riva a partire da uno spettro direzionale su acque profonde, tenendo in considerazione i processi di diminuzione del fondale (*shoaling*) e di rifrazione.

Lo spettro direzionale su profondità infinita si pone nella forma:

$$S_o(f, f_o) = S_o(f) G(q_o) \quad \text{con} \quad q_o = f_o - f_{mo}$$

dove lo spettro in frequenza è assunto nella forma del tipo *JoNSWaP* e la funzione $G(q_o)$ (distribuzione direzionale dell'energia) è indipendentemente dalla frequenza ed è espressa dalla relazione:

$$G(q_o) = \frac{1}{\sqrt{p}} \left(\frac{\Gamma(s+1)}{\Gamma(s+1/2)} \right) |\cos q_o|^{2s};$$

dove s è l'indice di distribuzione direzionale dell'energia, in questo studio assunto pari ad 1.

Gli angoli f_o sono gli angoli che individuano le direzioni delle componenti d'onda su profondità infinita (vedi la Fig. 7.1). Gli angoli f_o sono compresi negli intervalli seguenti:

$$\begin{aligned} -p/2 < f_o < p/2 + f_{mo} & \quad ; \quad f_{mo} < 0 \\ -p/2 + f_{mo} < f_o < p/2 & \quad ; \quad f_{mo} > 0 \end{aligned}$$

ed individuano le componenti che si muovono verso riva. Nel suo insieme il moto ondoso al largo è caratterizzato dalla direzione media f_{mo} .

Gli angoli q_o tra le direzioni delle componenti d'onda e la direzione media del moto ondoso sono contenuti negli intervalli

$$\begin{aligned} -p/2 - f_{mo} < q_o < p/2 & ; f_{mo} < 0 \\ -p/2 < q_o < p/2 - f_{mo} & ; f_{mo} > 0 \end{aligned}$$

Lo spettro direzionale ottenuto nel modello LW alla profondità finita h è espresso dalla relazione:

$$S_{LW}(f, f, h) = S_o(f, f_o) \cdot K_{SH}^2(f, h) \cdot K_{RE}^2(f, f_o, f, h) \cdot \frac{\mathfrak{I}f_o}{\mathfrak{I}f}$$

in cui $S_o(f, f_o)$ è lo spettro direzionale su profondità infinita, K_{SH} e K_{RE} sono i coefficienti di *shoaling* e di rifrazione, gli angoli f individuano le direzioni delle componenti d'onda su profondità finita, corrispondentemente ai f_o nelle acque alte.

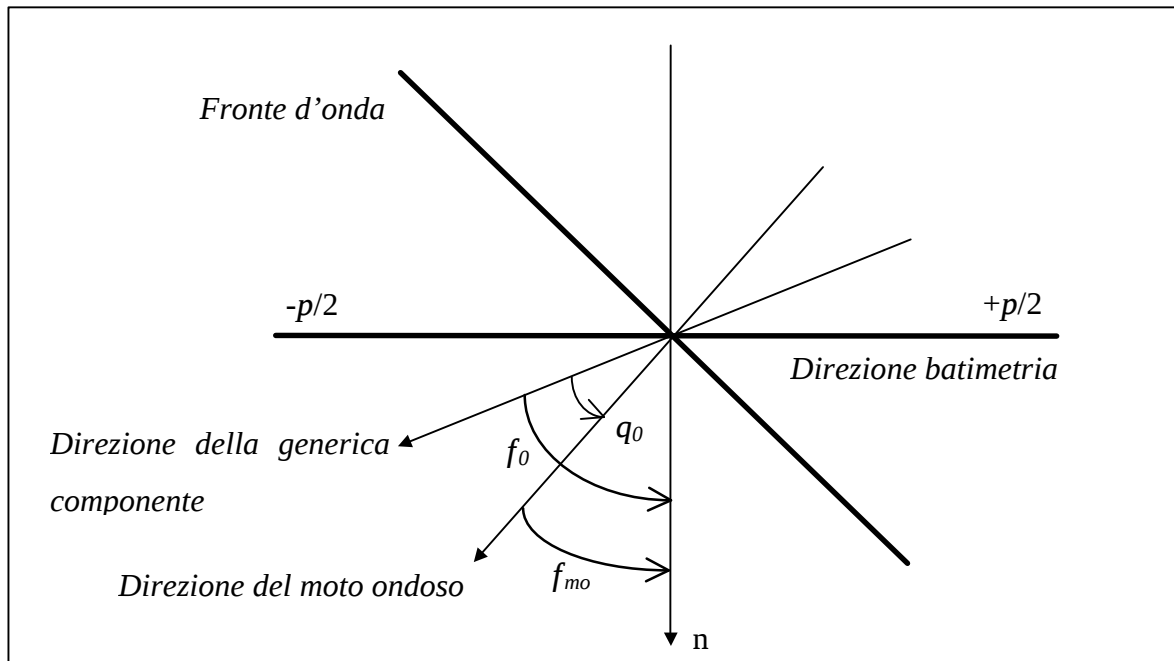


Figura 7.1 - Schema relativo ai riferimenti angolari negli spettri direzionali in acque alte

Gli angoli f e f_o sono legati dalla relazione:

$$f = \text{sen}^{-1}(\text{sen } f_o / c)$$

per cui la derivata parziale, contenuta nella relazione dello spettro, si può scrivere:

$$\frac{\mathfrak{I}f_o}{\mathfrak{I}f} = \frac{\cos f}{(c^{-2} - \text{sen}^2 f)^{1/2}} \cdot$$

La direzione media del moto ondoso d'assieme per profondità finita dipende, una volta precisata la frequenza di picco, dalla direzione media al largo:

$$(f_m)_{LW} = \text{sen}^{-1}(\text{sen } f_{mo} / c_p)$$

I coefficienti di *shoaling* e di rifrazione sono dati dalle:

$$K_{SH} = \left(\frac{2 \cosh^2 x}{2x + \sinh 2x} \right)^{1/2}$$

$$K_{RE} = \left(\frac{\cos f_o}{\cos f} \right)^{1/2}$$

Si può infine esprimere lo spettro LW in frequenza su profondità finita e quindi calcolare la sua area m_0 e l'altezza $(H_{m_0})_{LW}$ dell'onda spettrale con le relazioni seguenti:

$$S_{LW}(f, h) = \int_{f_o} S_o(f, f_o) \cdot K_{SH}^2(f, h) \cdot K_{RE}^2(f, f_o, h) \cdot df_o$$

$$(m_0)_{LW} = \int_f S_{LW}(f, h) \cdot df$$

$$(H_{m_0})_{LW} = 4.005 \left[(m_0)_{LW} \right]^{1/2}$$

tenendo presente che la direzione di tale onda è data da $(f_m)_{LW}$.

Va infine detto che questo procedimento, risulta valido per fondali con linee batimetriche sensibilmente rettilinee e parallele in quanto utilizza la relazione analitica $f = \text{sen}^{-1}(\text{sen } f_o / c)$. Questa condizione si verifica molto bene nell'intero paraggio marchigiano, dal largo perlomeno fino alla batimetrica -5m ed anche oltre, tranne che nel paraggio di Ancona e del promontorio del monte Conero dove invece, per il particolare andamento della batimetria sottocosta, può ritenersi valida solo fino alla -15m circa.

7.3) Il modello spettrale AFS

Il modello *AFS* (*Actual Frequency Spectrum*) si basa sulla combinazioni dei due modelli spettrali precedenti. Fornisce l'effettivo spettro in frequenza $S_{AFS}(f, h)$ alla generica profondità fi-

nita h operando sui corrispondenti spettri $S_{TMAR}(f, h)$ e $S_{LW}(f, h)$. Visto che lo spettro $S_{TMAR}(f, h)$ è di saturazione e quindi non può essere superato, il modello *AFS* adotta la formulazione:

$$S_{AFS}(f, h) = \begin{cases} S_{TMAR}(f, h) & \text{per } S_{LW}(f, h) > S_{TMAR}(f, h) \\ S_{LW}(f, h) & \text{per } S_{LW}(f, h) \leq S_{TMAR}(f, h) \end{cases}$$

Questo spettro viene associato alla direzione media del moto ondoso d'assieme.

L'altezza $(H_{m_0})_{AFS}$ dell'onda spettrale si ottiene nel modo consueto:

$$(m_0)_{AFS} = \int_f S_{AFS}(f, h) df$$

$$(H_{m_0})_{AFS} = 4.005 [(m_0)_{AFS}]^{1/2}$$

Come i modelli precedenti, il modello *AFS* si basa su assunzioni lineari, quindi la sua applicazione presuppone che siano trascurabili gli effetti non lineari nella trasformazione delle onde dovuta alla loro propagazione.

Seguendo il procedimento generale introdotto da Rebaudengo Landò et al. (1992), le non-linearità vengono correlate, in senso globale, al rapporto:

$$r = s_{n2}^2 / s_{n1}^2$$

e sono ritenute ininfluenti quando r verifica la condizione

$$r = 0.05$$

che viene dunque a rappresentare la condizione per l'applicabilità del modello.

Le quantità s_{n1}^2 e s_{n2}^2 rappresentano le varianze della prima componente $h_1(t)$ (componente Gaussiana) e della seconda componente $h_2(t)$ del profilo d'onda $h(t)$ al secondo ordine di approssimazione (modello non lineare) considerato nel dominio del tempo t .

Nell'ambito dello studio riferito allo spettro di saturazione $S_{TMA}(f, h)$ Gentile et al. (1994) hanno mostrato che il rapporto r viene a dipendere dalla profondità adimensionalizzata s_{hp} e dalla velocità del vento adimensionalizzata $U_0 = U_0 \cdot f_p \rho / g$ dove U_0 è la velocità del vento misurata a 10m sul l.m.m..

Per quanto riguarda la profondità adimensionalizzata limite (dalla parte delle basse profondità) s_{hp}^* per la validità delle assunzioni lineari, Gentile et al. hanno ricavato, attraverso una indagine di *best fit* condotta su valori di s_{hp}^* ricavati direttamente in base ad indagini numeriche sistematiche effettuate a partire da valori diversi per U_0 , la relazione:

$$s_{hp}^* = 0.87 \cdot \tilde{U}^{0.158}$$

la quale può essere adottata (scarti contenuti entro il 2%) anche per lo spettro in frequenza $S_{AFS}(f, h)$.

Il limite inferiore delle profondità per la validità delle assunzioni lineari risulta pari a:

$$h = h^* = g \cdot (s_{hp}^* / 2 \cdot p \cdot f_{p0})$$

Al di fuori del campo di validità suddetto del modello *AFS* le non linearità risultano importanti e non possono più essere trascurate. Conseguentemente il modello lineare *AFS* perde la sua applicabilità al di sotto di tale profondità limite.

L'analisi delle trasformazioni delle onde che si propagano dal largo verso la riva può quindi essere condotto con il modello *AFS* fino alla profondità limite suddetta e, una volta che essa è stata oltrepassata, può essere introdotta un'onda regolare, stokiana o cnoidale, caratterizzata sulla profondità h^* dall'altezza $(H_{m0})_{AFS}^*$, dal periodo $T_{p0} = 1/f_{p0}$ e dalla direzione del moto ondoso d'assieme $(f_m)_{AFS}^*$. Tale onda può essere fatta evolvere verso le minori profondità assumendo il periodo come invariante della propagazione e quantificando le modifiche nell'altezza e nella direzione considerando i processi di rifrazione e *shoaling* formalizzati con modelli non lineari. Si può tenere conto delle dissipazioni di energia per attrito sul fondo, in genere di rilievo sulle basse profondità, sino ad incontrare le condizioni limite di frangimento dell'onda, dopo le quali essa va trattata come onda frangente.

7.4) Applicazioni del modello spettrale *AFS* lungo la costa marchigiana

Il modello *A.F.S.* è stato applicato, a titolo di esempio, per la ricostruzione ed il trasferimento su profondità finita di alcuni spettri relativi a stati di mare di interesse e su diverse zone del litorale marchigiano. Nella fattispecie si sono considerati i valori di altezza significativa H_s e di periodo significativo T_s in acque profonde delle onde di progetto, ottenute nel precedente paragrafo 4.3), per le diverse direzioni di provenienza scelte a coprire l'intero settore di traversia della costa marchigiana con una cadenza intermedia di 30°. Nella Tabella 7.1 sono quindi riassunti i valori ondosi al largo (in altezza H_s di progetto, periodo T_s più probabile associato e direzione di provenienza) utilizzati nelle applicazioni in questione con le corrispondenti profondità limite per l'applicazione del modello *A.F.S.* in questione (avendo assunto per il periodo di picco, da cui ottenere per inversione la frequenza di picco, il valore ottenuto dalla relazione $T_p = 1,1 \cdot T_s$ e per la velocità del vento, necessaria per la valutazione della profondità adimensionalizzata, il valore $U_0 = 15 \text{ m/s}$).

Tabella 7.1 - Caratteristiche ondose al largo utilizzate nelle applicazioni del modello spettrale A.F.S. e profondità limite inferiore del campo di validità del modello stesso

Direzione di provenienza	H _s (m)	T _s (s)	h* (m)	H _s (m)	T _s (s)	h* (m)
300°N	6.5	7.4	7.34	5.7	7.1	6.85
330°N	6.5	7.4	7.34	5.7	7.1	6.85
0°N	7.5	9	10.21	6.8	8.8	9.83
30°N	7.5	9	10.21	6.8	8.8	9.83
60°N	7.5	9	10.21	6.8	8.8	9.83
90°N	5.7	8.7	9.65	5.2	8.5	9.28
120°N	7.3	11.1	14.54	6.6	10.7	13.67

Le profondità limite sottocosta per il rispetto delle condizioni di applicabilità del modello di trasferimento spettrale A.F.S. sono risultate variabili a seconda del diverso periodo ondoso considerato, con valori in ogni caso inferiore a 15m. Per cui nelle applicazioni del modello A.F.S. condotte nel presente paragrafo è stata scelta la profondità di riferimento h sottocosta pari a 15m in tutti i casi esemplificativi analizzati. Per ulteriore chiarezza si precisa che, dal largo fino alla profondità finita suddetta, viene considerata una distribuzione uniforme della batimetria del fondale del paraggio, in cui ovviamente le linee batimetriche sono parallele anche alla linea di riva.

Va notato che, ove le direzioni dei raggi ondosi coincidono con la normale alle batimetriche nel paraggio, tutte le componenti ondose comprese tra $-p/2$ e $+p/2$ partecipano al trasferimento energetico su profondità finite. In tal caso è quindi ragionevole attendersi una maggiore densità spettrale rispetto a tutte le possibili direzioni di provenienza, a parità di altre condizioni. In corrispondenza di tali situazioni si verificano perciò le condizioni più gravose in termini di altezza d'onda alla profondità finita considerata.

A tale riguardo l'intera costa marchigiana è stata genericamente suddivisa in tratti diversi a seconda della loro esposizione. Tale suddivisione è stata eseguita per estensioni di litorale abbastanza ampie, senza scendere in un ulteriore dettaglio per l'esame di punti particolari del litorale, sia per la scala di indagine del presente studio a livello regionale sia per mantenere la generalità dell'applicazione del modello di trasformazione ondosa spettrale di cui si tratta nel presente paragrafo. Procedendo da Nord verso Sud, sono stati quindi considerati i seguenti tratti della costa marchigiana con le relative direzioni della normale alla costa (verso il largo) associate:

- spiaggia bassa di Gabicce: 6°N;
- costa del colle San Bartolo fino al porto di Pesaro: 30°N;

- spiaggia a Sud del porto di Pesaro: 44°N;
- Fano: 35.5°N;
- dalla foce del fiume Metauro fino a Senigallia: 42.5°N;
- Marzocca: 35°N;
- Marina di Montemarciano: 26.5°N;
- Falconara Marittima: 32.5°N;
- Torrette di Ancona: 13°N;
- zona industriale del porto di Ancona: 299°N;
- dal porto di Ancona all'estremità Est del promontorio del monte Conero: 34°N;
- dall'estremità Est del promontorio del monte Conero al porto di Numana: 90°N;
- spiaggia di Numana bassa a Sud del porto e lido di Marcelli: 60°N;
- Porto Recanati: 66°N;
- Porto Potenza Picena: 72°N;
- Porto Civitanova: 59°N;
- dalla foce del fiume Chienti fino a Pedaso: 69°N;
- Cupramarittima e Grottammare: 77.5°N;
- San Benedetto del Tronto: 70°N.

Nelle applicazioni del modello spettrale è stato escluso unicamente il tratto di costa ad Ovest della città di Ancona, comprendente i piazzali del molo Sud con la zona industriale del porto ed il nuovo bacino turistico, in quanto esso ha una esposizione tutta particolare e completamente diversa dagli altri, essendo rivolto verso OvestNordOvest mentre tutti gli altri tratti sono affacciati in mare con esposizione da NordNordEst ad Est. Tra l'altro in tale tratto di litorale, di lunghezza marginale rispetto allo sviluppo dell'intera costa marchigiana, non esiste più spiaggia da lungo tempo, la linea di riva è artificiale e rigida ed inoltre in continua trasformazione a causa dei lavori infrastrutturali portuali in corso di realizzazione.

Quindi, escludendo il caso del tutto particolare della esposizione del breve tratto suddetto, è stato scelto di prendere in considerazione solo un numero ridotto (nove) di direzioni di esposizione dei fronti di riva che possano rappresentare l'esposizione dell'intero sviluppo della costa marchigiana. In esse vengono così raggruppate tutte le altre aree geografiche suddivise in precedenza. Le nove direzioni di riferimento della normale alla costa che sono state scelte sono le seguenti:

- per il litorale a Nord del Conero: 10°N, 30°N, 35°N, 43°N;
- per il litorale dall'estremità Est del Conero a Numana: 90°N;
- per il litorale a Sud di Numana: 60°N, 66°N, 70°N, 78°N.

I tratti della costa marchigiana suddivisi come detto in precedenza in base alla loro esposizione, sono stati raggruppati nel valore più simile o vicino di queste ultime direzioni generali scelte. Per cui l'analisi esemplificativa della trasformazione spettrale con il metodo *A.F.S.* è stata eseguita solo per questi nove valori generali delle direzioni di orientamento della normale alla batimetria.

Le caratteristiche ondose spettrali ottenute alla profondità di 15m, a partire dai dati ondosi al largo riassunti nella Tabella 7.1, e calcolate secondo il modello spettrale adottato *A.F.S.*, sono riportate nelle Tabelle 7.2. Tali tabelle, riportate nelle pagine che seguono, sono suddivise facendo riferimento alle nove direzioni generali di orientamento della normale alla batimetria scelte per rappresentare adeguatamente l'esposizione dei vari siti costieri marchigiani.

Ovviamente, oltre che ai suddetti casi esemplificativi, il metodo spettrale descritto può essere applicato agevolmente ad ogni qualunque altra situazione (ondosa, di esposizione del paraggio e di profondità finita di riferimento a riva) nel rispetto però delle ipotesi di base del procedimento (soprattutto fondale regolare con batimetrie rettilinee e parallele ed esclusione degli effetti non lineari nella propagazione ondosa secondo i limiti già descritti).

*Tabella 7.2a - Altezze d'onda spettrali e direzione del moto ondoso alla profondità di 15m
Direzioni di orientamento della normale alla costa ed alla batimetria: 10°N
Siti costieri di riferimento: spiaggia bassa di Gabicce, Torrette di Ancona*

profondità infinita			profondità $h = 15 \text{ m}$			
direz. proven.	H_s (m)	T_s (m)	H_{TMAR} (m)	H_{LW} (m)	H_{AFS} (m)	direz. proven.
300°N	6.5	7.4	5.41	4.39	4.39	318°N
330°N	6.5	7.4	5.41	5.41	5.14	337°N
0°N	7.5	9	5.93	6.71	5.66	3°N
30°N	7.5	9	5.93	6.59	5.64	24°N
60°N	7.5	9	5.93	5.78	5.44	42°N
90°N	5.7	8.7	4.35	3.32	3.32	57°N
120°N	7.3	11.1	5.05	2.45	2.45	43°N
300°N	5.7	7.1	5.06	3.90	3.90	318°N
330°N	5.7	7.1	5.06	4.78	4.70	337°N
0°N	6.8	8.8	5.10	6.07	5.02	3°N
30°N	6.8	8.8	5.10	5.97	5.01	25°N
60°N	6.8	8.8	5.10	5.24	4.82	45°N
90°N	5.2	8.5	4.12	3.05	3.05	57°N
120°N	6.6	10.7	4.36	2.22	2.22	47°N

Tabella 7.2b - Altezze d'onda spettrali e direzione del moto ondoso alla profondità di 15m
Direzione di orientamento della normale alla costa ed alla batimetria: 30°N
Siti costieri di riferimento: costa del colle San Bartolo, spiaggia a Nord del porto di Pesaro, Falconara Marittima, Marina di Montemarciano

profondità infinita			profondità $h = 15\text{ m}$			
direz. proven.	H_s (m)	T_s (m)	H_{TMAR} (m)	H_{LW} (m)	H_{AFS} (m)	direz. proven.
300°N	6.5	7.4	5.41	3.46	3.46	333°N
330°N	6.5	7.4	5.41	4.79	4.77	343°N
0°N	7.5	9	5.93	6.40	5.60	10°N
30°N	7.5	9	5.93	6.75	5.67	30°N
60°N	7.5	9	5.93	6.40	5.60	50°N
90°N	5.7	8.7	4.35	4.08	3.94	70°N
120°N	7.3	11.1	5.05	3.60	3.60	65°N
300°N	5.7	7.1	5.06	3.09	3.09	333°N
330°N	5.7	7.1	5.06	4.25	4.25	343°N
0°N	6.8	8.8	5.10	5.79	5	8°N
30°N	6.8	8.8	5.10	6.10	5.02	30°N
60°N	6.8	8.8	5.10	5.79	5	52°N
90°N	5.2	8.5	4.12	3.74	3.66	70°N
120°N	6.6	10.7	4.36	3.26	3.26	69°N

Tabella 7.2c - Altezze d'onda spettrali e direzione del moto ondoso alla profondità di 15m
Direzione di orientamento della normale alla costa ed alla batimetria: 35°N
Siti costieri di riferimento: Marzocca, Fano

profondità infinita			profondità $h = 15\text{ m}$			
direz. proven.	H_s (m)	T_s (m)	H_{TMAR} (m)	H_{LW} (m)	H_{AFS} (m)	direz. proven.
300°N	6.5	7.4	5.41	3.15	3.15	338°N
330°N	6.5	7.4	5.41	4.56	4.56	346°N
0°N	7.5	9	5.93	6.26	5.56	12°N
30°N	7.5	9	5.93	6.74	5.67	32°N
60°N	7.5	9	5.93	6.51	5.62	52°N
90°N	5.7	8.7	4.35	4.24	4.03	73°N
120°N	7.3	11.1	5.05	3.89	3.89	70°N
300°N	5.7	7.1	5.06	2.81	2.81	338°N
330°N	5.7	7.1	5.06	4.05	4.05	346°N
0°N	6.8	8.8	5.10	5.67	4.97	10°N
30°N	6.8	8.8	5.10	6.10	5.02	31°N
60°N	6.8	8.8	5.10	5.89	5.01	53°N
90°N	5.2	8.5	4.12	3.89	3.77	73°N
120°N	6.6	10.7	4.36	3.52	3.51	74°N

Tabella 7.2d - Altezze d'onda spettrali e direzione del moto ondoso alla profondità di 15m
Direzione di orientamento della normale alla costa ed alla batimetria: 43°N
Siti costieri di riferimento: spiaggia a Sud del porto di Pesaro, dalla foce del Metauro fino a Senigallia, da Ancona all'estremità Est del monte Conero

profondità infinita			profondità $h = 15\text{ m}$			
direz. proven.	H_s (m)	T_s (m)	H_{TMAR} (m)	H_{LW} (m)	H_{AFS} (m)	direz. proven.
300°N	6.5	7.4	5.41	2.79	2.79	348°N
330°N	6.5	7.4	5.41	4.26	4.26	350°N
0°N	7.5	9	5.93	6.03	5.51	15°N
30°N	7.5	9	5.93	6.68	5.66	34°N
60°N	7.5	9	5.93	6.64	5.65	55°N
90°N	5.7	8.7	4.35	4.48	4.16	76°N
120°N	7.3	11.1	5.05	4.34	4.23	77°N
300°N	5.7	7.1	5.06	2.50	2.50	348°N
330°N	5.7	7.1	5.06	3.79	3.79	350°N
0°N	6.8	8.8	5.10	5.46	4.91	12°N
30°N	6.8	8.8	5.10	6.05	5.02	33°N
60°N	6.8	8.8	5.10	6.01	5.02	56°N
90°N	5.2	8.5	4.12	4.10	3.90	76°N
120°N	6.6	10.7	4.36	3.92	3.77	81°N

Tabella 7.2e - Altezze d'onda spettrali e direzione del moto ondoso alla profondità di 15m
Direzione di orientamento della normale alla costa ed alla batimetria: 90°N
Siti costieri di riferimento: dall'estremità Est del monte Conero a Numana

profondità infinita			profondità $h = 15\text{ m}$			
direz. proven.	H_s (m)	T_s (m)	H_{TMAR} (m)	H_{LW} (m)	H_{AFS} (m)	direz. proven.
300°N	6.5	7.4	5.41	0.61	0.61	65°N
330°N	6.5	7.4	5.41	1.92	1.92	43°N
0°N	7.5	9	5.93	3.79	3.79	46°N
30°N	7.5	9	5.93	5.36	5.25	53°N
60°N	7.5	9	5.93	6.40	5.60	70°N
90°N	5.7	8.7	4.35	5.12	4.27	90°N
120°N	7.3	11.1	5.05	6.30	4.86	107°N
300°N	5.7	7.1	5.06	0.55	0.55	65°N
330°N	5.7	7.1	5.06	1.73	1.73	43°N
0°N	6.8	8.8	5.10	3.44	3.44	42°N
30°N	6.8	8.8	5.10	4.86	4.63	50°N
60°N	6.8	8.8	5.10	5.79	5	68°N
90°N	5.2	8.5	4.12	4.68	4.02	90°N
120°N	6.6	10.7	4.36	5.67	4.26	109°N

Tabella 7.2f - Altezze d'onda spettrali e direzione del moto ondoso alla profondità di 15m
Direzione di orientamento della normale alla costa ed alla batimetria: 60°N
Siti costieri di riferimento: spiaggia di Numana bassa a Sud del porto e lido di Marcelli, Porto Civitanova

profondità infinita			profondità $h = 15\text{ m}$			
direz. proven.	H_s (m)	T_s (m)	H_{TMAR} (m)	H_{LW} (m)	H_{AFS} (m)	direz. proven.
300°N	6.5	7.4	5.41	1.92	1.92	13°N
330°N	6.5	7.4	5.41	3.46	3.46	3°N
0°N	7.5	9	5.93	5.36	5.25	23°N
30°N	7.5	9	5.93	6.40	5.60	40°N
60°N	7.5	9	5.93	6.75	5.67	60°N
90°N	5.7	8.7	4.35	4.86	4.25	82°N
120°N	7.3	11.1	5.05	5.20	4.62	90°N
300°N	5.7	7.1	5.06	1.73	1.73	13°N
330°N	5.7	7.1	5.06	3.09	3.09	3°N
0°N	6.8	8.8	5.10	4.86	4.63	20°N
30°N	6.8	8.8	5.10	5.79	5	38°N
60°N	6.8	8.8	5.10	6.10	5.02	60°N
90°N	5.2	8.5	4.12	4.45	4	82°N
120°N	6.6	10.7	4.36	4.70	4.14	93°N

Tabella 7.2g - Altezze d'onda spettrali e direzione del moto ondoso alla profondità di 15m
Direzione di orientamento della normale alla costa ed alla batimetria: 66°N
Siti costieri di riferimento: Porto Recanati

profondità infinita			profondità $h = 15\text{ m}$			
direz. proven.	H_s (m)	T_s (m)	H_{TMAR} (m)	H_{LW} (m)	H_{AFS} (m)	direz. proven.
300°N	6.5	7.4	5.41	1.57	1.57	23°N
330°N	6.5	7.4	5.41	3.12	3.12	9°N
0°N	7.5	9	5.93	5.06	5.01	27°N
30°N	7.5	9	5.93	6.24	5.56	42°N
60°N	7.5	9	5.93	6.73	5.67	62°N
90°N	5.7	8.7	4.35	4.95	4.26	84°N
120°N	7.3	11.1	5.05	5.47	4.68	94°N
300°N	5.7	7.1	5.06	1.41	1.41	23°N
330°N	5.7	7.1	5.06	2.78	2.78	9°N
0°N	6.8	8.8	5.10	4.59	4.47	23°N
30°N	6.8	8.8	5.10	5.65	4.97	40°N
60°N	6.8	8.8	5.10	6.09	5.02	62°N
90°N	5.2	8.5	4.12	4.53	4.01	84°N
120°N	6.6	10.7	4.36	4.94	4.20	97°N

Tabella 7.2h - Altezze d'onda spettrali e direzione del moto ondoso alla profondità di 15m
Direzione di orientamento della normale alla costa ed alla batimetria: 70°N
Siti costieri di riferimento: Porto Potenza Picena, dalla foce del fiume Chienti fino a Pedaso, San Benedetto del Tronto

profondità infinita			profondità $h = 15\text{ m}$			
direz. proven.	H_s (m)	T_s (m)	H_{TMAR} (m)	H_{LW} (m)	H_{AFS} (m)	direz. proven.
300°N	6.5	7.4	5.41	1.44	1.44	30°N
330°N	6.5	7.4	5.41	2.95	2.95	14°N
0°N	7.5	9	5.93	4.88	4.88	29°N
30°N	7.5	9	5.93	6.12	5.53	44°N
60°N	7.5	9	5.93	6.71	5.66	63°N
90°N	5.7	8.7	4.35	5	4.27	85°N
120°N	7.3	11.1	5.05	5.64	4.72	96°N
300°N	5.7	7.1	5.06	1.29	1.29	30°N
330°N	5.7	7.1	5.06	2.64	2.64	14°N
0°N	6.8	8.8	5.10	4.43	4.38	25°N
30°N	6.8	8.8	5.10	5.55	4.94	41°N
60°N	6.8	8.8	5.10	6.07	5.02	63°N
90°N	5.2	8.5	4.12	4.58	4.02	85°N
120°N	6.6	10.7	4.36	5.08	4.21	99°N

Tabella 7.2i - Altezze d'onda spettrali e direzione del moto ondoso alla profondità di 15m
Direzione di orientamento della normale alla costa ed alla batimetria: 78°N
Siti costieri di riferimento: Cupramarittima e Grottammare

profondità infinita			profondità $h = 15\text{ m}$			
direz. proven.	H_s (m)	T_s (m)	H_{TMAR} (m)	H_{LW} (m)	H_{AFS} (m)	direz. proven.
300°N	6.5	7.4	5.41	1.05	1.05	44°N
330°N	6.5	7.4	5.41	2.52	2.52	25°N
0°N	7.5	9	5.93	4.45	4.45	35°N
30°N	7.5	9	5.93	5.85	5.46	47°N
60°N	7.5	9	5.93	6.62	5.64	66°N
90°N	5.7	8.7	4.35	5.08	4.27	87°N
120°N	7.3	11.1	5.05	5.94	4.78	101°N
300°N	5.7	7.1	5.06	0.95	0.95	44°N
330°N	5.7	7.1	5.06	2.26	2.26	25°N
0°N	6.8	8.8	5.10	4.04	4.04	31°N
30°N	6.8	8.8	5.10	5.30	4.85	44°N
60°N	6.8	8.8	5.10	5.99	5.01	65°N
90°N	5.2	8.5	4.12	4.64	4.02	87°N
120°N	6.6	10.7	4.36	5.35	4.24	103°N

8) CARATTERISTICHE ONDOSE DA UTILIZZARE NELLE APPLICAZIONI ANALITICO-NUMERICHE DI DINAMICA COSTIERA

L'applicazione dei metodi di calcolo o dei modelli matematico-numerici sui problemi di dinamica e morfodinamica costiera richiede la preliminare conoscenza delle caratteristiche ondose, quali azioni forzanti di analisi, da inserire come dati di ingresso. Precisamente il dato iniziale può consistere o in un'unica azione ondosa, oppure in una sequenza di più azioni ondose diverse (di numero più o meno ridotto) di cui vengono sovrapposti i relativi effetti.

L'analisi dinamica della stabilità di coste e spiagge può essere di due tipi: di breve o di lungo termine. Nel breve termine si tratta di studiare i mutamenti subiti dai profili della spiaggia nel corso ad esempio di un'unica mareggiata, quindi al trascorrere di poche ore o al massimo di qualche giorno. Un tale singolo evento produce trasformazioni sulle spiagge generalmente di carattere momentaneo, anche se esse possono essere cospicue e recuperabili a volte molto lentamente (o al limite non proprio completamente fino alla situazione preesistente). Al contrario nel lungo termine si tratta di esaminare quello che avviene sul litorale al trascorrere di interi cicli stagionali o meglio annuali. Durante questi ultimi lunghi intervalli di tempo le spiagge sono sottoposte all'azione di parecchie condizioni diverse del mare. Le trasformazioni subite in tal caso dalle spiagge hanno carattere abbastanza duraturo, ed esse rientrano nella generale tendenza evolutiva del litorale stesso.

Ai due tipi di analisi delle spiagge descritti sopra, risultano associate, ai fini delle applicazioni matematico-numeriche, caratteristiche ondose forzanti ovviamente di diverso tipo.

Nell'analisi delle spiagge nel breve termine si fa riferimento, come già detto, alla durata di un'unica mareggiata. Essa può essere rappresentata da uno specifico evento realmente avvenuto oppure, in mancanza del dettaglio di specifici eventi o nel caso di un esame più generale degli effetti delle mareggiate, si può far riferimento ad eventi ondosi fittizi con caratteristiche estratte dalla tipologia ondosa della mareggiata o del settore direzionale considerato. Quindi la condizione ondosa da utilizzare come dato forzante di ingresso nel metodo di calcolo utilizzato per l'analisi, va ottenuto o direttamente dagli elementi ondosi che si sono manifestati nel corso dello specifico evento indagato oppure dagli elementi ondosi in possesso riguardo al settore direzionale preso in esame. I dati di ingresso così ottenuti saranno costituiti o proprio dalla sequenza temporale dei valori ondosi rilevati nel corso della specifica mareggiata reale oppure dai valori relativi ad una condizione ondosa fittizia, scelta a rappresentare le caratteristiche ondose della specifica mareggiata o in generale del settore direzionale esaminato. Le caratteristiche ondose introdotte in tal caso nell'analisi avranno intensità proporzionale a quella del fenomeno ondoso da riprodurre (in genere alte), direzione e durata (dell'ordine di ore o al massimo giorni) compatibili con quelle dell'evento stesso.

Quando ci si riferisce invece ad una analisi di lungo termine, le condizioni ondose che si succedono nel corso di un simile intervallo di tempo sono numerose e soprattutto diverse in intensità, direzione, durata e frequenza. Il loro complesso insieme va a costituire il cosiddetto regime (o clima) ondoso del paraggio marino esaminato: in esso ad ogni tipo di onda, individuata entro pre-determinate classi di intensità e direzione di provenienza, risulta associato il valore della rispettiva frequenza (assoluta o relativa). Ne consegue che le onde che costituiscono il regime sono abbastanza numerose e di caratteristiche differenti.

La possibilità di riprodurre, nelle applicazioni dei metodi o dei modelli di studio di dinamica costiera, la completa sequenza di tutte le ondate che si sono effettivamente succedute nel regime medio, singolarmente e separatamente in successione l'una dopo l'altra, diventa troppo onerosa ed improponibile. In alternativa, per semplificare le simulazioni di calcolo, si cerca di utilizzare un'unica condizione ondosa fittizia (o al più la sovrapposizione in sequenza di una serie, molto ridotta, di singole onde) quale dato forzante di ingresso. Tale onda fittizia, considerata agente sul litorale in maniera continuativa per una durata di tempo paragonabile al lungo periodo dell'analisi (dell'ordine dei giorni, dei mesi o degli anni), deve essere in grado di riprodurre, nella simulazione di calcolo, effetti analoghi a quelli realmente prodotti sulla spiaggia, durante il lungo periodo di tempo dell'analisi nel prototipo, da tutte le azioni ondose (del regime medio relativo a quel paraggio) realmente succedutesi in tale intervallo temporale. Come detto tale onda fittizia (unica o in alternativa la successione di una serie ridotta di onde), dovendo rappresentare un clima ondoso medio su un lungo periodo di tempo, viene riprodotto nelle simulazioni agente continuamente e costantemente su durate di tempo anch'esse lunghe. Per cui essa è in genere contraddistinta da valori relativamente bassi di intensità (altezza e periodo) e da una direzione di provenienza simile a quella della traversia principale o prevalente del paraggio costiero indagato.

Nel gergo tecnico le onde fittizie in genere prendono il nome di “onde equivalenti”, in particolare quelle relative alle analisi di lungo termine dei processi costieri si dicono anche “onde modellatrici” o “onde morfologiche”.

Nel caso di utilizzare come onda equivalente una sequenza di più onde (al posto di un'unica singola) nasce anche il problema di stabilire l'ordine migliore per la riproduzione della loro successione. Gli effetti costieri riprodotti infatti possono differire anche in base alla differente sequenza con cui si fanno agire le singole onde. Le combinazioni possibili delle successioni delle singole onde possono anche diventare molto numerose ed il loro numero si amplifica notevolmente aumentando quello delle onde da riprodurre. Quindi, oltre alle altre grandezze caratteristiche delle singole onde (altezza, periodo, direzione di provenienza e durata), anche l'ordine delle onde multi-

ple da simulare costituisce un ulteriore parametro da dover scegliere per la migliore riproduzione degli effetti reali.

Inoltre per poter stabilire nella maniera più corretta quale onda fittizia risulti adeguata, come dato di ingresso, all'applicazione del metodo di calcolo o del modello di analisi utilizzato, risulta essenziale che l'applicatore curi una preventiva procedura di taratura del metodo (o modello) di simulazione in questione. Essa va condotta nel tentativo di riprodurre effetti confrontabili con quelli realmente verificatisi nel tratto di spiaggia preso in esame, utilizzando onde fittizie di tentativo. L'azione ondosa fittizia che risulta fornire il miglior adattamento (degli effetti simulati con quelli reali) rappresenta quella più idonea da utilizzare con tale procedimento di calcolo (o modello) e sul tratto di costa in esame. Ovviamente tale procedura di taratura andrà ripetuta ogniqualvolta si applica un nuovo metodo o si cambia il litorale di indagine. Questo criterio di scelta dell'onda fittizia equivalente vale sia per le analisi delle spiagge di lungo termine sia nel caso delle analisi di breve termine.

Tale fase di taratura viene preceduta dalla preliminare fase di calcolo delle onde fittizie di primo tentativo (da sottoporre alla definitiva taratura del modello utilizzato). Queste vengono ricavate a partire dalla tipologia della mareggiata indagata nel caso dell'analisi di breve termine oppure dai regimi ondosi medi nel caso dell'analisi di lungo termine. In quest'ultimo caso per impostare il calcolo dell'equivalenza ci si può riferire a diversi aspetti: si può ricorrere ad esempio ai metodi sintetizzati di seguito: 1) intensità ondosa equivalente al largo (l'onda equivalente di primo tentativo viene individuata, sia come altezza sia come direzione, tramite la media pesata delle stesse grandezze, relative alle singole onde componenti il regime medio, in base alla loro frequenza); 2) energia ondosa di riva equivalente (l'onda modellatrice è determinata in modo che la sua energia a riva, in particolare al frangimento, sia pari a quella delle singole onde del regime medio); 3) trasporto solido equivalente (l'onda morfologica viene determinata in modo che il suo trasporto solido lungocosta sia pari a quello prodotto da tutte le singole onde del regime medio).

A tal proposito nelle tabelle seguenti si riportano, a titolo di esempio, i valori (di altezza e direzione di provenienza) di una singola onda morfologica, considerata agente costantemente ed in continuo, ottenuti con i tre metodi suddetti, a partire dai regimi ondosi medi relativi alle misure della boa di Ancona nel 1989/90 ed ai dati raccolti dal K.N.M.I. nel 1961/95 (per il cosiddetto "settore italiano") per i tratti della spiaggia (assunti ognuno con batimetria parallela alla riva) aventi i nove valori di direzione normale alla costa (verso il largo) già considerati nel suddetto paragrafo 7.5, in grado di rappresentare in maniera schematica e raggruppata le esposizioni dei vari siti costieri marchigiani.

Tabella 8.1a - Altezza significativa e direzione di provenienza dell'onda equivalente al largo
Direzione di orientamento della normale alla costa ed alla batimetria: 10°N
Siti costieri di riferimento: spiaggia bassa di Gabicce, Torrette di Ancona

	<i>Clima ondoso dalle misure della boa di Ancona</i>	
<i>Metodo di calcolo dell'onda equivalente</i>	<i>H_s (m)</i>	<i>direzione di provenienza</i>
1) Altezza al largo equivalente	0.46	10°N
2) Energia ondosa a riva equivalente	0.66	17°N
3) Trasporto solido lungocosta equivalente	0.75	19°N

	<i>Clima ondoso dai dati del K.N.M.I. "settore italiano"</i>	
<i>Metodo di calcolo dell'onda equivalente</i>	<i>H_s (m)</i>	<i>direzione di provenienza</i>
1) Altezza al largo equivalente	0.49	4°N
2) Energia ondosa a riva equivalente	0.77	8°N
3) Trasporto solido lungocosta equivalente	0.92	9°N

Tabella 8.1b - Altezza significativa e direzione di provenienza dell'onda equivalente al largo
Direzione di orientamento della normale alla costa ed alla batimetria: 30°N
Siti costieri di riferimento: costa del colle San Bartolo, spiaggia a Nord del porto di Pesaro, Falconara Marittima, Marina di Montemarignano

	<i>Clima ondoso dalle misure della boa di Ancona</i>	
<i>Metodo di calcolo dell'onda equivalente</i>	<i>H_s (m)</i>	<i>direzione di provenienza</i>
1) Altezza al largo equivalente	0.53	25°N
2) Energia ondosa a riva equivalente	0.73	31°N
3) Trasporto solido lungocosta equivalente	0.82	31°N

	<i>Clima ondoso dai dati del K.N.M.I. "settore italiano"</i>	
<i>Metodo di calcolo dell'onda equivalente</i>	<i>H_s (m)</i>	<i>direzione di provenienza</i>
1) Altezza al largo equivalente	0.55	16°N
2) Energia ondosa a riva equivalente	0.83	23°N
3) Trasporto solido lungocosta equivalente	0.97	23°N

Tabella 8.1c - Altezza significativa e direzione di provenienza dell'onda equivalente al largo
Direzione di orientamento della normale alla costa ed alla batimetria: 35°N
Siti costieri di riferimento: Marzocca, Fano

	<i>Clima ondoso dalle misure della boa di Ancona</i>	
<i>Metodo di calcolo dell'onda equivalente</i>	<i>H_s (m)</i>	<i>direzione di provenienza</i>
1) Altezza al largo equivalente	0.39	59°N
2) Energia ondosa a riva equivalente	0.60	35°N
3) Trasporto solido lungocosta equivalente	0.70	35°N

	<i>Clima ondoso dai dati del K.N.M.I. "settore italiano"</i>	
<i>Metodo di calcolo dell'onda equivalente</i>	<i>H_s (m)</i>	<i>direzione di provenienza</i>
1) Altezza al largo equivalente	0.44	32°N
2) Energia ondosa a riva equivalente	0.76	28°N
3) Trasporto solido lungocosta equivalente	0.91	28°N

Tabella 8.1d - Altezza significativa e direzione di provenienza dell'onda equivalente al largo
Direzione di orientamento della normale alla costa ed alla batimetria: 43°N
Siti costieri di riferimento: spiaggia a Sud del porto di Pesaro, dalla foce del Metauro fino a Senigallia, da Ancona all'estremità Est del monte Conero

	<i>Clima ondoso dalle misure della boa di Ancona</i>	
<i>Metodo di calcolo dell'onda equivalente</i>	<i>H_s (m)</i>	<i>direzione di provenienza</i>
1) Altezza al largo equivalente	0.39	59°N
2) Energia ondosa a riva equivalente	0.61	43°N
3) Trasporto solido lungocosta equivalente	0.70	42°N

	<i>Clima ondoso dai dati del K.N.M.I. "settore italiano"</i>	
<i>Metodo di calcolo dell'onda equivalente</i>	<i>H_s (m)</i>	<i>direzione di provenienza</i>
1) Altezza al largo equivalente	0.44	32°N
2) Energia ondosa a riva equivalente	0.76	36°N
3) Trasporto solido lungocosta equivalente	0.90	36°N

Tabella 8.1e - Altezza significativa e direzione di provenienza dell'onda equivalente al largo
Direzione di orientamento della normale alla costa ed alla batimetria: 90°N
Siti costieri di riferimento: dall'estremità Est del monte Conero a Numana

	<i>Clima ondoso dalle misure della boa di Ancona</i>	
<i>Metodo di calcolo dell'onda equivalente</i>	<i>H_s (m)</i>	<i>direzione di provenienza</i>
1) Altezza al largo equivalente	0.48	87°N
2) Energia ondosa a riva equivalente	0.65	87°N
3) Trasporto solido lungocosta equivalente	0.73	86°N

	<i>Clima ondoso dai dati del K.N.M.I. "settore italiano"</i>	
<i>Metodo di calcolo dell'onda equivalente</i>	<i>H_s (m)</i>	<i>direzione di provenienza</i>
1) Altezza al largo equivalente	0.52	95°N
2) Energia ondosa a riva equivalente	0.81	94°N
3) Trasporto solido lungocosta equivalente	0.96	95°N

Tabella 8.1f - Altezza significativa e direzione di provenienza dell'onda equivalente al largo
Direzione di orientamento della normale alla costa ed alla batimetria: 60°N
Siti costieri di riferimento: spiaggia di Numana bassa a Sud del porto e lido di Marcelli, Porto Civitanova

	<i>Clima ondoso dalle misure della boa di Ancona</i>	
<i>Metodo di calcolo dell'onda equivalente</i>	<i>H_s (m)</i>	<i>direzione di provenienza</i>
1) Altezza al largo equivalente	0.48	71°N
2) Energia ondosa a riva equivalente	0.66	60°N
3) Trasporto solido lungocosta equivalente	0.75	57°N

	<i>Clima ondoso dai dati del K.N.M.I. "settore italiano"</i>	
<i>Metodo di calcolo dell'onda equivalente</i>	<i>H_s (m)</i>	<i>direzione di provenienza</i>
1) Altezza al largo equivalente	0.55	56°N
2) Energia ondosa a riva equivalente	0.85	56°N
3) Trasporto solido lungocosta equivalente	1	56°N

Tabella 8.1g - Altezza significativa e direzione di provenienza dell'onda equivalente al largo
Direzione di orientamento della normale alla costa ed alla batimetria: 66°N
Siti costieri di riferimento: Porto Recanati

	<i>Clima ondoso dalle misure della boa di Ancona</i>	
<i>Metodo di calcolo dell'onda equivalente</i>	<i>H_s (m)</i>	<i>direzione di provenienza</i>
1) Altezza al largo equivalente	0.43	78°N
2) Energia ondosa a riva equivalente	0.62	65°N
3) Trasporto solido lungocosta equivalente	0.71	63°N

	<i>Clima ondoso dai dati del K.N.M.I. "settore italiano"</i>	
<i>Metodo di calcolo dell'onda equivalente</i>	<i>H_s (m)</i>	<i>direzione di provenienza</i>
1) Altezza al largo equivalente	0.44	78°N
2) Energia ondosa a riva equivalente	0.74	63°N
3) Trasporto solido lungocosta equivalente	0.89	63°N

Tabella 8.1h - Altezza significativa e direzione di provenienza dell'onda equivalente al largo
Direzione di orientamento della normale alla costa ed alla batimetria: 70°N
Siti costieri di riferimento: Porto Potenza Picena, dalla foce del fiume Chienti fino a Pedaso, San Benedetto del Tronto

	<i>Clima ondoso dalle misure della boa di Ancona</i>	
<i>Metodo di calcolo dell'onda equivalente</i>	<i>H_s (m)</i>	<i>direzione di provenienza</i>
1) Altezza al largo equivalente	0.43	78°N
2) Energia ondosa a riva equivalente	0.62	69°N
3) Trasporto solido lungocosta equivalente	0.71	66°N

	<i>Clima ondoso dai dati del K.N.M.I. "settore italiano"</i>	
<i>Metodo di calcolo dell'onda equivalente</i>	<i>H_s (m)</i>	<i>direzione di provenienza</i>
1) Altezza al largo equivalente	0.44	78°N
2) Energia ondosa a riva equivalente	0.75	68°N
3) Trasporto solido lungocosta equivalente	0.89	68°N

Tabella 8.1i - Altezza significativa e direzione di provenienza dell'onda equivalente al largo
Direzione di orientamento della normale alla costa ed alla batimetria: 78°N
Siti costieri di riferimento: Cupramarittima e Grottammare

	<i>Clima ondoso dalle misure della boa di Ancona</i>	
<i>Metodo di calcolo dell'onda equivalente</i>	<i>H_s (m)</i>	<i>direzione di provenienza</i>
1) Altezza al largo equivalente	0.43	78°N
2) Energia ondosa a riva equivalente	0.61	76°N
3) Trasporto solido lungocosta equivalente	0.70	74°N

	<i>Clima ondoso dai dati del K.N.M.I. "settore italiano"</i>	
<i>Metodo di calcolo dell'onda equivalente</i>	<i>H_s (m)</i>	<i>direzione di provenienza</i>
1) Altezza al largo equivalente	0.44	78°N
2) Energia ondosa a riva equivalente	0.75	78°N
3) Trasporto solido lungocosta equivalente	0.90	79°N

Una volta che sono state individuate (dopo il calcolo dell'onda fittizia di primo tentativo e dopo aver effettuato i tentativi delle operazioni di taratura del procedimento di analisi costiera) le caratteristiche dell'onda equivalente più adatta da utilizzare nel metodo (o modello) di calcolo di dinamica costiera, rimane il problema di dover scegliere le opportune grandezze ondose (per esempio spettrali, medie, significative, di picco, di onda sinusoidale, regolare, ecc.) che lo rappresentano. Esse devono essere adeguate a quelle richieste dal procedimento analitico-numerico in questione. Comunque può essere sempre effettuata una conversione dall'uno all'altro tipo di grandezza. Una grossa distinzione può essere fatta anzitutto tra l'utilizzo delle caratteristiche delle onde sinusoidali o regolari e di quelle statistiche spettrali delle onde irregolari casuali. Comunque ogni modello (o metodo di calcolo) richiede l'utilizzo di un tipo diverso di grandezza ondosa. Per cui sembra utile raccogliere, nel breve schema riassuntivo della tabella seguente, alcune delle grandezze ondose (altezza, periodo e direzione) richieste da alcuni dei più comuni modelli (o metodi) di calcolo su argomenti di dinamica costiera.

Tabella 8.2 – Caratteristiche ondose richieste da alcuni modelli di dinamica costiera

<i>metodo di calcolo o modello matematico</i>	<i>Altezza ondosa richiesta</i>	<i>Periodo ondoso richiesto</i>	<i>direzionondosa richiesta</i>
piani di rifrazione	di onda regolare	di onda regolare	di onda regolare
metodo flusso energia (formule <i>CERC</i>)	di onda sinusoidale	di onda sinusoidale	di onda sinusoidale
formula profilo trasv. <i>Dean</i>	dipendente solo	dalla granulometria	del sedimento D_{50}
evoluz. ripasc. <i>Dean</i>	di onda sinusoidale	di onda sinusoidale	di onda sinusoidale
profondità limite di <i>Hallermeier</i>	$(H_s)_{12 \text{ ore/anno}}$	T_s	—
formula trasporto <i>Kamphuis</i>	H_s	T_p	media o picco
modello <i>Battjes e Janssen</i>	H_{rms}	T_{01}	—
modello sul profilo trasv. <i>Nishimura e Sunamura</i>	di onda sinusoidale	di onda sinusoidale	—
evoluz. profilo trasv. <i>Van der Meer</i>	H_s	$T_z = T_{02}$	—
modello <i>ARIES</i>	H_s (regime medio)	T_p	picco (con $s=75$)
modello spettrale <i>A.F.S.</i> (con forma spettrale <i>Carter</i>)	H_s	$T_z = T_{02}$	media d'assieme
modello <i>presente Convenzione</i>	richiede l'andamento	del sollevamento della	superficie nel tempo

Segue infine un breve schema delle formule da utilizzare, in mancanza di informazioni specifiche, per la conversione di un tipo di altezza ondosa o periodo ad uno diverso, relativamente alla stessa condizione ondosa. Quanto riportato è fatto nell'ipotesi di validità della distribuzione di Rayleigh per le altezze e secondo le indicazioni delle “*Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti*”, elaborate da una commissione ministeriale di tecnici nel 1994, per i periodi:

$$H_s = H_{1/3} = \sqrt{2} \cdot H_{rms} = (1/0,63) H_m = (1/1,27) H_{1/10} = (1/1,67) H_{1/100} = (1/1,80) H_{1/250}$$

$$T_s = T_p/(1,13 \div 1,07) = T_{01}/(0,88 \div 0,90) = T_m/(0,88 \div 0,90) = T_{02}/(0,84 \div 0,86) = T_z/(0,84 \div 0,86)$$

ove sono stati adottati ovviamente i simboli di uso comune ed universalmente standardizzati a livello scientifico per rappresentare le diverse grandezze ondose di altezza e periodo più note.

BIBLIOGRAFIA

Archetti R., Franco L. (1996). Nuove analisi di dati ondametrici dei mari italiani, *Atti 2° Giorn. It. Ing. Cost.*, Sez. It. AIPCN-PIANC, Ravenna;

Barbaro G., Arena F. (1999). Il Rischio Ondoso nei Mari Italiani, *Editoriale BIOS*, Cosenza;

Boccotti P. (1997). Idraulica Marittima, *Utet*, Torino;

Consiglio superiore dei lavori pubblici (1994). Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime, *Sez. It. AIPCN-PIANC*, Roma;

Coastal Engineering Research Center of the Waterways Experiment Station (1984). Shore Protection Manual, *Corps of Engineers of the Department of the Army*, Vicksburg;

E.N.A.V., I.T.A.V. (anni vari). Archivio dati meteorologici registrati dalle stazioni di rilevamento e misura dell'Aeronautica Militare, Roma.

Filianoti P. (2000). La disponibilità di energia ondosa su varie aree del pianeta, *Atti XVII Conv. Idr. e Costr. Idr.*, vol. IV, p. 80, Genova;

Gentile R., Rebaudengo Landò L., Scarsi G. (1994). Design Wave on Finite Depth: a Re-analysis of the TMA Model, *Proc. 14th Int. Conf. on Offs. Mech. and Arct. Eng.*;

Goda Y. (1985). Random Seas and Design of Maritime Structures, *University of Tokio Press*, Tokio;

Goda Y. (1988). On the Methodology of Selecting Design Wave Height, *Proc. XXI Coast. Eng. Conf.*, Malaga;

Istituto Idrografico della Marina (1982). Portolano del Mediterraneo, vol.1C., *I.I.M.*, Genova;

Istituto Idrografico della Marina (1982). Atlante delle correnti superficiali dei mari italiani, *I.I.M.*, Genova;

Istituto Idrografico della Marina (1984). Il vento e lo stato del mare lungo le coste italiane e dell'Adriatico, vol. IV, *I.I.M.*, Genova;

Istituto Idrografico della Marina (1992). Tavole di marea 1993, *I.I.M.*, Genova;

- Italian Sea Wave Monitoring Network (2000). Pagina Internet <http://www.envirtech.org/ron.asp>, Envirtech, Genova;
- Le Mehaute B., Wang D. M. (1982). The Sea, Ocean Engineering Science, Wiley Intersc. Publ., J.Wiley & sons, New York;
- Mathiesen M., Goda Y., Hawkes P., Mansard E., Martin M.J., Peltier E., Thompson E., Van Veddler G. (1994). Recommended Practice for Extreme Wave Analysis, *J. Hydr. Res.*, vol.32 n°6;
- Mosetti F. (1978). Il volto degli oceani, *EST Mondadori*, Milano;
- Rangogni R. (1997). – Propagazione del moto ondoso da largo a riva, *Atti del Corso di aggiornamento su regime e protezione costiera dei litorali*, Notiziario della sezione italiana AIPCN-PIANC, numero speciale, Roma;
- Rebaudengo Landò L., Scarsi G., Taramasso A.C. (1992). The Transfer of the Donelan et al. Spectrum on Shoaling Water, *Computer Modelling of Seas on Coastal Regions*, Southampton;
- Scarsi G., Taramasso A.C. Rebaudengo Landò L., Benassai G. (1992). Rederivation of the TMA model for Wind Wave Spectra, *Publ. IM1/91 Ist. Idr.*, Genova;
- Scarsi G. (1993). L'onda di progetto, *Atti Giorn. It. Ing. Cost.*, p. 162, Sez. It. AIPCN-PIANC, Genova;
- Scarsi G. (1995). Caratteristiche meteomarine: trasformazione sottocosta degli eventi di moto ondoso, *Atti Gior. It. Ing. Cost.*, pp.77-98, Sez. It. AIPCN-PIANC, Ravenna;
- Scarsi G. (1998). Le trasformazioni degli stati di mare nella propagazione del moto ondoso dal largo verso riva: un modello matematico interpretativo, *Seminari Sez. It. AIPCN-PIANC*, Roma;
- Scarsi G. (1998). Onde di gravità regolari, Collana di idraulica marittima, *Litograph*, Genova;
- Tucker M.J. (1991). Wave in Ocean Engineering, Ellis Horwood in marine science, *Ellis Horwood Limited*, Chicester.